This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

**Usage guidelines**

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

**About Google Book Search**

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

**Über dieses Buch**

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

**Nutzungsrichtlinien**

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

**Über Google Buchsuche**

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen

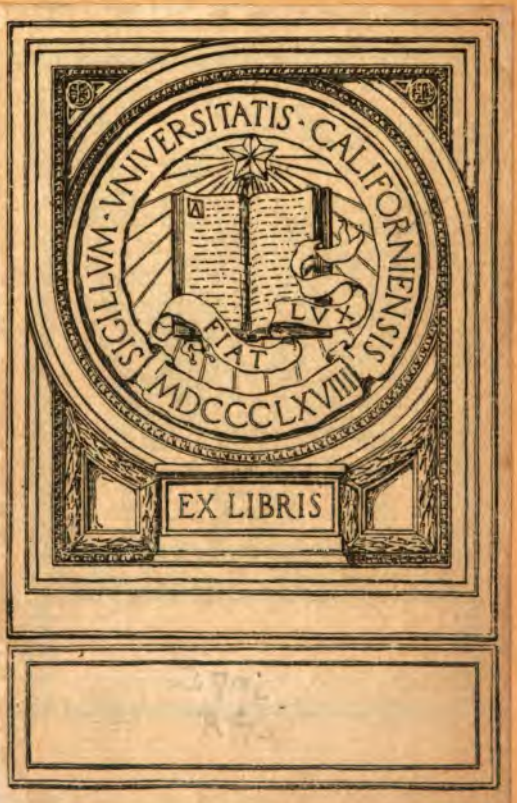
UC-NRLF
$B 270 836

M. v. Rohr

# Die optischen Instrumente

Zweite Auflage

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig




Ein vollständiges Verzeichnis der Sammlung „Aus Natur und Geisteswelt" befindet sich am Schluß dieses Bandes.

AMuG allg. 500 : 1210.

# Die Sammlung
# „Aus Natur und Geisteswelt"

verdankt ihr Entstehen dem Wunsche, an der Erfüllung einer bedeutsamen sozialen Aufgabe mitzuwirken. Sie soll an ihrem Teil der unserer Kultur aus der Scheidung in Kasten drohenden Gefahr begegnen helfen, soll dem Gelehrten es ermöglichen, sich an weitere Kreise zu wenden, und dem materiell arbeitenden Menschen Gelegenheit bieten, mit den geistigen Errungenschaften in Fühlung zu bleiben. Der Gefahr, der Halbbildung zu dienen, begegnet sie, indem sie nicht in der Vorführung einer Fülle von Lehrstoff und Lehrsätzen oder etwa gar unerwiesenen Hypothesen ihre Aufgabe sucht, sondern darin, dem Leser Verständnis dafür zu vermitteln, wie die moderne Wissenschaft es erreicht hat, über wichtige Fragen von allgemeinstem Interesse Licht zu verbreiten, und ihn dadurch zu einem selbständigen Urteil über den Grad der Zuverlässigkeit jener Antworten zu befähigen.

Es ist gewiß durchaus unmöglich und unnötig, daß alle Welt sich mit geschichtlichen, naturwissenschaftlichen und philosophischen Studien befasse. Es kommt nur darauf an, daß jeder an einem Punkte die Freiheit und Selbständigkeit des geistigen Lebens gewinnt. In diesem Sinne bieten die einzelnen, in sich abgeschlossenen Schriften eine Einführung in die einzelnen Gebiete in voller Anschaulichkeit und lebendiger Frische.

In den Dienst dieser mit der Sammlung verfolgten Aufgaben haben sich denn auch in dankenswertester Weise von Anfang an die besten Namen gestellt. Andererseits hat dem der Erfolg entsprochen, so daß viele der Bändchen bereits in neuen Auflagen vorliegen. Damit sie stets auf die Höhe der Forschung gebracht werden können, sind die Bändchen nicht wie die anderer Sammlungen stereotypiert, sondern werden — was freilich die Aufwendungen sehr wesentlich erhöht — bei jeder Auflage durchaus neu bearbeitet und völlig neu gesetzt.

So sind denn die schmucken, gehaltvollen Bände durchaus geeignet, die Freude am Buche zu wecken und daran zu gewöhnen, einen kleinen Betrag, den man für Erfüllung körperlicher Bedürfnisse nicht anzusehen pflegt, auch für die Befriedigung geistiger anzuwenden. Durch den billigen Preis ermöglichen sie es tatsächlich jedem, auch dem wenig Begüterten, sich eine kleine Bibliothek zu schaffen, die das für ihn Wertvollste „Aus Natur und Geisteswelt" vereinigt.

Die meist reich illustrierten Bändchen sind in sich abgeschlossen und einzeln käuflich.

**Ausführlicher illustrierter Katalog unentgeltlich.**

Leipzig. B. G. Teubner.

Aus Natur und Geisteswelt
ammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen
88. Bändchen

# Die optischen Instrumente

Von
Dr. Moritz von Rohr
wissenschaftlichem Mitarbeiter in der
optischen Werkstätte von Carl Zeiß

Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage
Mit 88 Abbildungen im Text

Druck und Verlag von B. G. Teubner in Leipzig 1911

QC371
.E6

Copyright 1911
by B. G. Teubner in Leipzig.

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechts, vorbehalten.

# Vorwort zur ersten Auflage.

Auf den nachfolgenden Seiten ist der Versuch gemacht worden, die modernen Ansichten über die optischen Instrumente in einfacher Weise wiederzugeben. Dabei hat für die ganze Anlage die Darstellung der Ansichten E. Abbes zur Grundlage gedient, die sich in der zweiten Auflage des Czapskischen Handbuches findet. Auch in den historischen Bemerkungen über Mikroskop und Fernrohr ist die Anlehnung an dieses Werk deutlich. Ein besonderes Gewicht ist auf den Vortrag der Strahlenbegrenzung gelegt worden, deren allgemeine Theorie ohne Schwierigkeit aus einer früheren Abhandlung E. Abbes folgt, bei der aber im Sinne Herrn A. Gullstrands die Wichtigkeit des Augendrehpunktes für das Verständnis des Auges im direkten Sehen nachdrücklich hervorgehoben wurde. Es ist in Übereinstimmung damit die Bedeutung der den optischen Instrumenten eigentümlichen Perspektive mehr betont worden, als das meistens zu geschehen pflegt, und es sind auch die Bedingungen in engerem Anschlusse an die Wirklichkeit behandelt worden, unter denen das Auge die Bilder aufnimmt, die ihm von den zu subjektivem Gebrauche bestimmten Instrumenten geliefert werden.

Die Anwendung der Mathematik ist möglichst eingeschränkt worden, doch konnte sie nach der Natur der Aufgabe nicht entbehrt werden. Die Beigabe einer größeren Anzahl meistens neu gezeichneter Figuren wird das Verständnis erleichtern.

Jena, im August 1905.

**Moritz von Rohr.**

262059

# Vorwort zur zweiten Auflage.

Gegenüber der ersten Ausgabe wird der aufmerksame Leser zahlreiche kleinere Änderungen und Ergänzungen finden, die hier nicht näher besprochen werden sollen. Von größerer Bedeutung ist aber die Annahme gewisser, auf Herrn A. Gullstrand zurückzuführender Anschauungen, darunter namentlich die stärkere Betonung des Umstandes, daß es sich bei den von optischen Instrumenten gelieferten Darstellungen der Außenwelt nicht um Bilder im strengen Sinne, sondern um das Ergebnis von Projektionsvorgängen handelt. Es wird nicht überraschen, daß auch die neuen ophthalmologischen Arbeiten desselben Autors berücksichtigt wurden.

In der Anordnung des Stoffes mußte leider aus Mangel an Raum von wesentlichen Änderungen abgesehen werden, doch soll sich an dieser Stelle wenigstens der Hinweis finden, daß die Haupteinteilung der Instrumente zweckmäßig nach ihrer Vergrößerungswirkung zu geschehen hätte, während den jetzigen Hauptkategorien, den Instrumenten zu subjektivem und objektivem Gebrauche, nur die Bedeutung von sekundären Gruppen zukommen sollte. Hoffentlich wird es später im Interesse größerer Strenge und Klarheit möglich sein, diese Einteilung durchzuführen.

Der Verfasser bedauert lebhaft, daß das Büchlein nicht leichter zu lesen ist; er bittet aber seine Kritiker, ihm zugute zu halten, daß die optischen Instrumente in ihrem Zusammenwirken mit dem bewegten Auge eben keinen einfachen Lehrgegenstand abgeben.

Jena, im August 1910.

**Moritz von Rohr.**

# Inhaltsübersicht.


Seite

**I. Die Einführung der Grundbegriffe.**

a) Die Lagen- und Größenbeziehungen von Objekt und Bild . . . . . 1
b) Die Strahlenbegrenzung . 5
c) Die Strahlungsvermittlung 11
d) Die Abbildung durch optische Instrumente . . . 11

**II. Das Auge und sein Gebrauch beim Sehen.**

a) Das Auge als ruhendes optisches System . . . 15
b) Die Akkommodationsfähigkeit des Auges . . . . 20
c) Das Auge im direkten Sehen 22
d) Das Auge und die Abbildskopie . . . . . 25
e) Das Sehen mit beiden Augen . . . . . 28

**III. Die optischen Instrumente im einzelnen.**

A. Die Instrumente zu objektivem Gebrauche.

1. Die photographischen Objektive . . . . 32
a) Der Abbildungsmaßstab 33
b) Die Tiefe und die Perspektive . . . . . 35
c) Die Strahlungsvermittlung . . . . . 39
d) Die Strahlenvereinigung 45
e) Die gebräuchlichen Objektivtypen . . . . . 50
f) Die historische Entwicklung . . . . . 51
I. Die Petzvalsche Periode . . . . . 51
II. Die Periode der verzeichnungsfreien Weitwinkelobjektive in England . . . 52
III. Die Steinheilsche Periode . . . . 53
IV. Die Periode der modernen Anastigmate und des Teleobjektivs . . . . 53
2. Die Camera obscura als Zeichenapparat . 55
3. Die eigentlichen Projektionssysteme . . . 56
a) Die episkopische Projektion . . . . . 57
b) Die Projektion von Diapositiven . . . . . 59
c) Der Beleuchtungsapparat . . . . . 61
d) Die Änderung der Perspektive für Zuschauer auf ungünstigen Plätzen 63
e) Die kinematographische Projektion . . . . 64

Seite

f) Die verschiedenen Methoden der stereoskopischen Projektion . . . 65

B. Die Instrumente zu subjektivem Gebrauche.

1. Die Brillen und die Lesegläser . . . . 68
a) Die korrigierenden Brillen für ametrope Augen 68
b) Die Presbyopenbrillen . 69
c) Die Brillen für Aphakische . . . . . 70
d) Die Fernrohrbrillen . 71
e) Die astigmatischen Brillen . . . . . 72
f) Die Brillengestelle . . 73
2. Die Vergrößerungsgläser. . . . . 75
a) Die einfachen Mikroskope und die Lupen . 76
b) Die für das direkte Sehen bestimmten Lupen . . 78
c) Der Verant . . . . 78
3. Die Mikroskope . . . 80
a) Die Lagen- u. Größenbeziehung . . . . . 81
b) Die Strahlenbegrenzung 83
c) Die Strahlungsvermittlung . . . . . 84
d) Die Verwirklichung der Abbildung (Beugungstheoretische Überlegungen). . . . . 85
e) Die Strahlenvereinigung im Mikroskopobjektiv . . . . . 93

Seite

f) Die Strahlenvereinigung im Mikroskopokular . . . . . 97
g) Das Stativ des Mikroskops . . . . . 101
h) Die binokularen Mikroskope . . . . . 102
i) Die Verwendung des Mikroskops bei der Projektion und der Mikrophotographie . . . 102
j) Die Instrumente zur Betrachtung von Körperhöhlen . . . . . 106
4. Die Teleskope . . . 107
a) Die Lagen- u. Größenbeziehung . . . . . 107
b) Die Strahlenbegrenzung 109
c) Die Strahlungsvermittlung. . . . . 111
d) Die holländischen Fernrohre . . . . . 112
e) Die astronomischen Fernrohre . . . . . 114
f) Die terrestrischen Fernrohre mit fester und mit veränderlicher Vergrößerung. . . . . 121
g) Die Zielfernrohre . . 122
h) Die Prismenfernrohre. 122
i) Die Doppelfernrohre mit normalem und erweitertem Objektivabstande 124
j) Die Fernrohre bei der Projektion und der Photographie . . . 130
k) Die Periskope für Unterseeboote . . . . . 130

UNIV. OF CALIFORNIA

# I. Die Einführung der Grundbegriffe.

Für die Behandlung der optischen Instrumente werden hier die vereinfachenden Annahmen der geometrischen Optik ausreichen, und es wird angenommen werden, daß von einem leuchtenden Punkte geradlinige, voneinander unabhängige Strahlen als Träger des Lichts ausgehen, die bei der Spiegelung und der Brechung den bekannten Gesetzen gehorchen.

Nur bei einem Instrument, dem Mikroskop, wird es unvermeidlich sein, etwas auf die Natur des Lichtes als einer Wellenbewegung einzugehen.

a) Die Lagen- und Größenbeziehungen von Objekt und Bild. Das zwischen zwei zunächst sphärischen Grenzflächen enthaltene Stück eines durchsichtigen Mittels heißt Linse. (Fig. 1.)

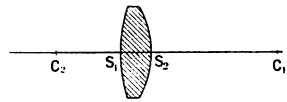



Fig. 1. Achsenschnitt durch eine Linse. $C_1$, $C_2$ sind die Krümmungsmittelpunkte der Flächen $S_1$, $S_2$.

Die Verbindungslinie der beiden Kugelmittelpunkte sei die Achse der Linse. Sind zwei oder mehrere Linsen hintereinander angeordnet, so nennt man sie zusammenfassend ein Linsensystem, und fallen ihre Achsen alle in dieselbe Gerade, so heißt das System zentriert und die den Linsen gemeinsame Achse die Systemachse. Man unterscheidet allgemein sammelnde und zerstreuende Linsen. (Fig. 2.)

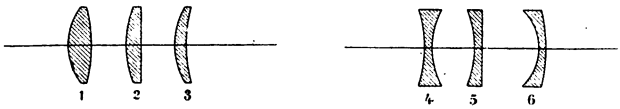



Fig. 2. 1, 2, 3 Sammellinsen: die Mitte ist dicker als der Rand. 4, 5, 6 Zerstreuungslinsen: die Mitte ist dünner als der Rand. 1 bikonvexe, 2 plankonvexe, 4 bikonkave, 5 plankonkave Linse; 3 positiver, 6 negativer Meniskus (Mönchen).

Unter Beschränkung auf den der Systemachse benachbarten, sie fadenförmig umgebenden Raum oder auf unendlich kleine Objekte und unendlich kleine Systemöffnungen hat C. F. Gauß schon

1840 eine allgemeine Theorie zentrierter Linsensysteme angegeben, nach der man Lage und Größe der Bilder berechnen kann, wenn die Objekte und gewisse einfache, sogleich zu besprechende Bestimmungsstücke des Linsensystems gegeben sind. Unter den angegebenen Beschränkungen kann man nämlich von einer Strahlenvereinigung aller von einem Objektpunkte ausgehenden Strahlen in einem Bildpunkte sprechen, und jedem achsensenkrechten Objektelement entspricht ein achsensenkrechtes Bildelement. Man sieht leicht ein, daß für diesen fadenförmigen Raum nur die Krümmungsradien in den Linsenscheiteln in Betracht kommen, so daß sich die Gaußische Theorie auch ohne weiteres auf zentrierte Linsensysteme anwenden läßt, die von beliebigen, stetig verlaufenden Umdrehungsflächen begrenzt sind.

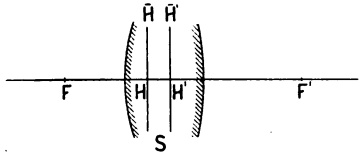



Fig. 3. Achsenschnitt durch das zentrierte System $S$ mit den Brennpunkten $F$, $F'$, den Hauptpunkten $H$, $H'$ und den in ihnen senkrecht zur Achse errichteten Hauptebenen $\overline{H}$, $\overline{H'}$.

Kommt man nun auf die oben berührten Bestimmungsstücke zu sprechen, so läßt sich die Wirkung des zentrierten Systems $S$ angeben durch die vier auf der Systemachse liegenden Kardinalpunkte, nämlich den objektseitigen Brennpunkt $F$ und den bildseitigen $F'$ sowie den objektseitigen Hauptpunkt $H$ und den bildseitigen $H'$. (Fig. 3.) Die Strecken $FH$, $F'H'$ heißen die Äquivalentbrennweiten; sie sind einander gleich $HF = F'H'$, wenn sich das System in einem und demselben Mittel (etwa Luft) befindet, und voneinander verschieden, wenn die dem Objekt zugekehrte Seite des Systems an ein anderes Mittel grenzt als die dem Bilde zugewandte. Als Beispiel kann das aus Hornhaut, Kammerwasser und Augenlinse bestehende optische System des Auges angeführt werden, das auf der einen Seite an Luft, auf der andern an den Glaskörper des Auges grenzt. Die Brennpunkte haben nun die Eigenschaft, daß im Objektraume achsenparallele Strahlen in $F'$, achsenparallele Strahlen des Bildraumes in $F$ vereinigt werden. Errichtet man in den beiden Hauptpunkten $H$ und $H'$ achsensenkrechte Ebenen, die Hauptebenen, so sind sie zueinander konjugiert, d. h. sie entsprechen sich als Objekt und Bild. Objekt und Bild sind in ihnen gleich groß, die Vergrößerung mithin gleich eins, mit der die eine Ebene in die andere abgebildet

wird. Die Verbindungslinie zweier in den Hauptebenen liegender konjugierter Punkte $HH'$ läuft also der Systemachse parallel.

Da nach dem Vorhergehenden alle vom Objektpunkt $\bar{O}$ in das System gesandten Strahlen sich im Bildpunkt wieder vereinigen, so läßt sich das Bild $O'\bar{O}'$ des beliebigen achsensenkrechten Objekts $O\bar{O}$ mit einer sehr einfachen geometrischen Konstruktion finden, wenn man aus allen von $\bar{O}$ ausgehenden Strahlen zwei solche auswählt, die die Konstruktion besonders bequem machen. (Fig. 4.)

Man zieht von $\bar{O}$ aus eine achsenparallele Gerade $\bar{O}H$, die man bis $\bar{H}'$ verlängert, dann muß im Bildraume der $\bar{H}'$ enthaltende

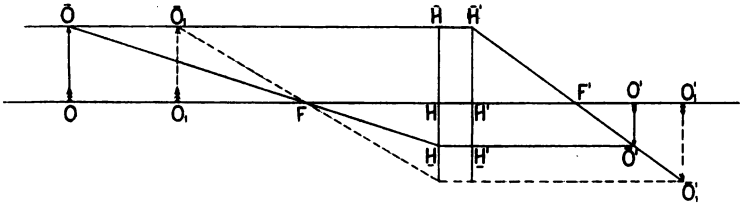



Fig. 4. Die Konstruktion des zu $O\bar{O}\,[O_1\bar{O}_1]$ gehörigen Bildes $O'\bar{O}'\,[O_1'\bar{O}_1']$ mit Hilfe der Brennpunkte und der Hauptebenen.

Strahl durch $F'$ gehen. Verbindet man aber $\bar{O}$ mit $F$ und verlängert diese Gerade bis $\underline{H}$, so muß diesem Strahle im Bildraume ein achsenparalleler entsprechen, der durch $\underline{H}$ und $\underline{H}'$ geht. Beide Strahlen des Bildraumes $\underline{H}'F'$ und $\underline{H}\underline{H}'$ definieren den Bildpunkt $\bar{O}'$, von dem aus eine Senkrechte auf die Achse gefällt werden muß, um in $O'\bar{O}'$ das konjugierte Bild zu erzielen, das nach der Konstruktion dem Objekt $O\bar{O}$ ähnlich ist.

Eine genau entsprechende Konstruktion für das gleichgroße, aber dem System näher liegende Objekt $O_1\bar{O}_1$ führt auf das wiederum ähnliche Bild $O'_1\bar{O}'_1$, das aber eine andere Vergrößerung aufweist als $O'\bar{O}'$. Man sieht aus der Figur, daß hier der Objektverschiebung $OO_1$ eine gleichgerichtete Bildverschiebung $O'O'_1$ entspricht, und es mag betont werden, daß diese Beobachtung allgemeine Gültigkeit hat.

Mit dieser Konstruktion oder einem ihr entsprechenden Rechenverfahren kann man ohne Schwierigkeit zu einem in endlicher Entfernung gegebenen, räumlich ausgedehnten Objekt (Objektrelief)

das zugehörige räumliche Bild (Bildrelief) feststellen. In diesem Bildrelief sind achsensenkrechte Ebenen ähnlich wiedergegeben, dagegen ändert sich immer die Vergrößerung mit dem Abstande der Objektebene vom System.

Handelt es sich aber um ein unendlich entferntes, unter dem Winkel $w$ erscheinendes Objekt, so versagt die angegebene Konstruktion, und man muß den Umstand zu Hilfe nehmen, daß unendlich entfernte Objekte in der durch den hinteren Brennpunkt $F'$ gehenden, achsensenkrechten Brennebene abgebildet werden. Zieht man (Fig. 5) durch $F$ den Strahl, der mit der Achse den Winkel $w$ bildet, so ist das der dem fernen Objekt angehörige, durch den vorderen Brennpunkt gehende Strahl, der die vordere Hauptebene in $\underline{H}$ schneidet und im Bildraume die Richtung $\underline{H}\,H'$ einschlagen

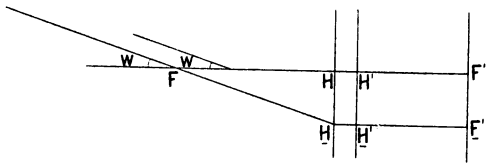



Fig. 5. Die Bildkonstruktion für ein weit entferntes, unter dem Winkel $w$ erscheinendes Objekt.

muß. Er schneidet in der hinteren Brennebene den Punkt $\underline{F'}$ aus, der das Bild des entfernten Objektpunktes ist.

Liegt der Bildpunkt im Sinne der Lichtrichtung hinter der letzten Fläche des Systems, etwa wie $F'$ in der Figur 3, so heißt er reell, und man kann ihn auf einem Schirme auffangen; liegt er im Sinne der Lichtrichtung vor der letzten Fläche, wie beispielsweise bei dem durch einen ebenen Spiegel entworfenen Spiegelbilde eines körperlichen Objekts, so läßt er sich nicht auffangen, und man nennt ihn virtuell.

Die Konstruktionen sind bis jetzt unter der stillschweigend gemachten Voraussetzung durchgeführt worden, daß es sich um Sammellinsen handele, oder um Linsen mit positiver Brennweite. Das sind für die praktische Optik auch die wichtigsten Systeme. Ihnen stehen die Zerstreuungslinsen gegenüber, die eine negative Brennweite haben, was sich in der Fig. 6 dadurch äußert, daß die gestrichelten Buchstaben und die ungestrichelten ihre Seiten vertauschen. Für Zerstreuungslinsen lassen sich genau die gleichen Konstruktionen

durchführen, was an dem Parallelfall in Fig. 6 gezeigt sei, für den der zu Fig. 4 gehörige Text wörtlich gilt. Man sieht aus dieser Figur leicht, daß Negativlinsen von reellen Objekten virtuelle, aufrechte Bilder ergeben.

Zuerst J. Clerk Maxwell 1856, dann E. Abbe seit 1871 haben die Gaußsche Abbildung auf endlich geöffnete Systeme und Objektpunkte von endlichem Achsenabstande ausgedehnt, und namentlich der Letztgenannte hat gezeigt, daß aus der bloßen Voraussetzung einer eindeutigen, durch geradlinige Strahlen vermittelten Abbildung die Gesetze der Gaußschen Abbildung in aller Strenge folgen, ohne daß über ihre Verwirklichung irgend eine Annahme gemacht werde. Tatsächlich bedeutet diese Erkenntnis aber keine Erweiterung des Gaußschen Abbildungsgebietes, denn es läßt sich für Systeme endlicher Öffnung oder endlichen Feldes jene Voraussetzung der Eindeutigkeit eben nicht in aller Strenge erfüllen. Somit hat diese Theorie ihre Hauptbedeutung

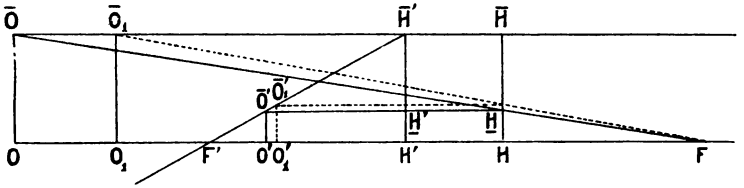



Fig. 6. Die Bildkonstruktion bei einem zerstreuenden System.

darin, daß mit ihr ein Idealbild der Leistung optischer Systeme gegeben ist, und bei der eingehenden Beschreibung der einzelnen Instrumente kann man darauf eingehen, in welchen Punkten die durch sie vermittelte Abbildung von der idealen abweicht.

b) Die Strahlenbegrenzung. Der eben behandelte, sehr wichtige Zusammenhang zwischen Objekt und Bild folgte aus der allgemeinen Annahme einer durch geradlinige Strahlen vermittelten, fehlerfreien Abbildung; er reicht aber zum Verständnis der Wirkungsweise der optischen Instrumente nicht aus, weil bei seiner Ableitung zwei Umstände gar nicht berücksichtigt werden, die sich bei allen optischen Instrumenten vorfinden. Es ist das einmal die stets irgendwie beschränkte Größe der Linsendurchmesser und dann das Vorhandensein eines flächenhaft ausgedehnten Auffangschirms (sei es der Mattscheibe einer photographischen Kamera oder der Netzhaut des Auges), auf dem in der Regel das Objektrelief zur Darstellung kommt, denn nur selten liegen alle Objektpunkte in einer Ebene, so daß sie auf dem Auffangschirme wirklich abgebildet werden können. Die Berücksichtigung dieser Verhältnisse

ist im Anschlusse an die grundlegenden Untersuchungen E. Abbes zu geben, und sie wird zur Ableitung wichtiger, allen optischen Instrumenten gemeinsamer Eigenschaften führen.

**Die Folgen der Beschränktheit der Linsendurchmesser und der Blendenöffnungen.** Durch die Begrenzung der Linsendurchmesser werden, wie unmittelbar ersichtlich ist, ganz bestimmte Gruppen aus der Strahlenmenge eines leuchtenden Punktes ausgewählt und für die Abbildung dienstbar gemacht, Strahlengruppen, die durchaus nicht das oben zur Bildkonstruktion benutzte Strahlenpaar enthalten müssen.

Ein zentriertes optisches System $S$ sei unbeweglich vor einem beliebigen Objektrelief vorausgesetzt, das später durch Pfeile repräsentiert werden wird. Dann erscheint einem an den Achsenort $O$ des wichtigsten Objektteils gebrachten Auge eine bestimmte der in $S$ enthaltenen Blenden oder Fassungen unter einem kleineren Winkel als alle übrigen. (Fig. 7.) Diese Blende oder Fassung kann direkt gesehen werden, wenn sie zwischen $S$ und $O$ liegt (eine Vorderblende ist), liegt sie im Innern des Systems $S$ (ist sie eine Innenblende), so wirkt sie auf das in $O$ befindliche Auge nicht direkt, sondern durch ihr von den voraufgehenden Systemteilen entworfenes, meist virtuelles Bild. Unter all diesen kegelförmigen Gesichtswinkeln, deren Spitzen sämtlich in $O$, deren meist kreisförmige Basen entweder je in einer Blende selbst oder in ihrem Bilde liegen, wird der ausgewählt, dessen Öffnungswinkel am kleinsten ist, und die zu ihm gehörige Basis die **Eintrittspupille** des Instruments genannt. Alle im Objektraume nach dieser Eintrittspupille zielenden Strahlen werden dann von den anderen objektseitigen Blendenbildern durchgelassen. Auch läßt sich nachweisen, daß das vom ganzen Instrument entworfene Bild der Eintrittspupille, von dem zugehörigen Bildorte $O'$ betrachtet, ebenfalls kleiner erscheint, als die übrigen bildseitigen Blenden oder die sie vertretenden Bilder. In Übereinstimmung mit dem Vorhergehenden

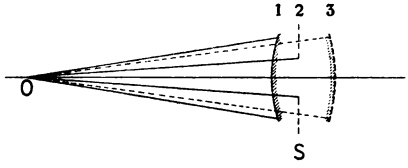



Fig. 7. Schema für die Aufsuchung der Eintrittspupille.
Es seien drei Blenden vorhanden: 1. die vordere Fassung der ersten Linse (sie ist direkt sichtbar), 2. das Bild einer Innenblende, 3. das Bild des Fassungsrandes der letzten Linse (die zu 2 u. 3 gehörigen Blenden sind von $O$ aus direkt nicht sichtbar). In diesem Falle ist 2 die Eintrittspupille. Wäre 2 nicht vorhanden, so würde 3 die Eintrittspupille sein.

wird dieses Bild die Austrittspupille des Instruments genannt, und ebenso wie oben werden alle aus der Eintritts- in die Austrittspupille gelangenden Strahlen von den bildseitigen Blendenbildern durchgelassen.

Macht man nun, um die Seitenausdehnung des Abbildungsbereichs festzustellen, die Annahme, daß das beobachtende Auge in die Mitte der Eintrittspupille gebracht worden sei, so werden ihm die übrigen objektseitigen Blendenbilder gleichsam als kreisrunde, zur Achse konzentrische Fenster oder Luken von verschiedener scheinbarer Größe erscheinen. Es sei wiederum das kleinste ausgewählt, weil ja nur die von diesem durchgelassenen Strahlen das System durchsetzen können, und es sei als Eintrittsluke $L$ bezeichnet. Setzt man nunmehr der Einfachheit wegen wiederum nur eine einzige Eintrittsluke als wirksam voraus, so sieht man leicht ein (Fig. 8.), daß die beiden Öffnungen $L$ und $P$ den Objektraum in vier Gebiete teilen, nämlich eines A, wo die ganze Apertur von Achsenpunkten gilt, eines B, wo die Verminderung nur soweit geht, daß noch die Strahlen durch die Pupillenmitte hindurchtreten, eines C, wo die Apertur allmählich bis auf Null abnimmt, und eines D, wo gar keine Strahlen mehr das System durchsetzen können. Das Bereich D scheidet also für das System aus, da seine Punkte von dem betrachteten System überhaupt nicht mehr abgebildet werden können.

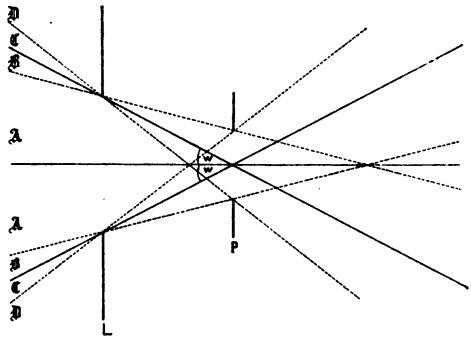



Fig. 8. Die Einteilung des Objektraums in vier Gebiete von verschiedener Apertur infolge des Vorhandenseins einer Eintrittspupille und einer Eintrittsluke.

Wie man aus der Figur sieht, hängen B und C von der Größe des Durchmessers der Eintrittspupille ab; nimmt man diese, wie es häufig geschieht, klein an, beschränkt sich also praktisch auf die Mitte der Eintrittspupille, so schwinden B und C auf enge Gebiete zusammen, und man erhält durch die Einführung der Eintrittsluke $L$ die Trennung des gesamten Objektraums in nur zwei Gebiete, deren eines, A, die Punkte enthält, die abgebildet werden,

und deren anderes, D, die Punkte umfaßt, die nicht abgebildet werden. Den Winkelraum $2w$ des erstgenannten Bereichs bezeichnet man dann als Gesichtsfeldwinkel. Bei endlich geöffneter Blende behält er seine Bedeutung für das Strahlenbüschel der Pupillenmitte, d. h. das Büschel der Hauptstrahlen. Die Gebiete B und C pflegt man als die zunehmender Vignettierung zu bezeichnen.

Genau die gleichen Verhältnisse gelten infolge der eindeutigen Abbildung auch für den Bildraum, auch hier erscheint die Austrittsluke $L'$ von $P'$ aus betrachtet unter einem kleineren Winkel $w'$ als irgendein anderes bildseitiges Blendenbild.

Die Folgen der Beschränkung des Bildraums auf eine Ebene. Im allgemeinen Falle werden optische Instrumente für die Betrachtung räumlich ausgedehnter Objekte (eines Objektreliefs) verwandt, von denen sie also ein Bildrelief entwerfen; der Fall, daß die Objektpunkte alle in einer Ebene liegen (Sternenhimmel, Mikrotomschnitte), ist verhältnismäßig selten. Wie oben bereits bemerkt, bringt man (Fig. 9.) in den Bildraum stets eine Auffangfläche, als die hier stets eine achsensenkrechte Ebene gelten soll, die Mattscheibenebene $O'$. Schneidet man mit ihr die von der Austrittspupille ausgehenden und nach den Bildpunkten gerichteten Strahlenbüschel, so entsteht auf ihr eine aus Punkten und Flecken (bei den gewöhnlichen, mit zentrierten Blenden versehenen Systemen aus Punkten und Zerstreuungskreisen) zusammengesetzte Darstellung. Der ganzen Anlage dieser Schrift entspricht es, das dieser Darstellung konjugierte Objekt aufzusuchen, das ja auf der achsensenkrechten Objektebene $O$ liegen muß, die der Mattscheibenebene $O'$ konjugiert ist. Sie sei als Einstellungsebene $O$ bezeichnet. Da den nach den Bildpunkten zielenden Kreiskegeln aus der Austrittspupille die von den Objektpunkten nach der Eintrittspupille gerichteten Öffnungskegel entsprechen, so ergibt sich das gesuchte Objekt als die Schnittfigur jener von den Objektpunkten ausgehenden Kegelbüschel mit der Einstellungsebene. Dieses Gebilde sei als das objektseitige Abbild des Objektreliefs bezeichnet. Es wird (unbewußt) in demselben Augenblick eindeutig bestimmt, wo man irgendein optisches Instrument an irgendeiner Stelle auf irgendein räumliches Objekt richtet, denn dadurch setzt man eben eine Eintrittspupille nach Lage und Größe fest und gibt die Entfernung an, in der die Einstellungsebene liegen soll. Die ganze Wirksamkeit des optischen Instruments beschränkt sich dann darauf, dieses aus Punkten und Zerstreuungskreisen bestehende objektseitige Ab-

bild in dem oben beschriebenen, wenn auch nicht genannten, bildseitigen Abbild abzubilden. Da dieses dem objektseitigen Abbild streng ähnlich ist, so wird es auch als seine Kopie, kurz als die **Abbildskopie** bezeichnet. Vorgreifend sei bemerkt, daß man diese Kopie eben infolge dieser geometrischen Ähnlichkeit in das objektseitige Hauptstrahlenbüschel bringen kann, das ja von der Mitte der Eintrittspupille ausgeht, und daß sie dann Punkt für Punkt mit dem objektseitigen Abbild und damit auch mit dem Objektrelief selbst perspektivisch liegt.

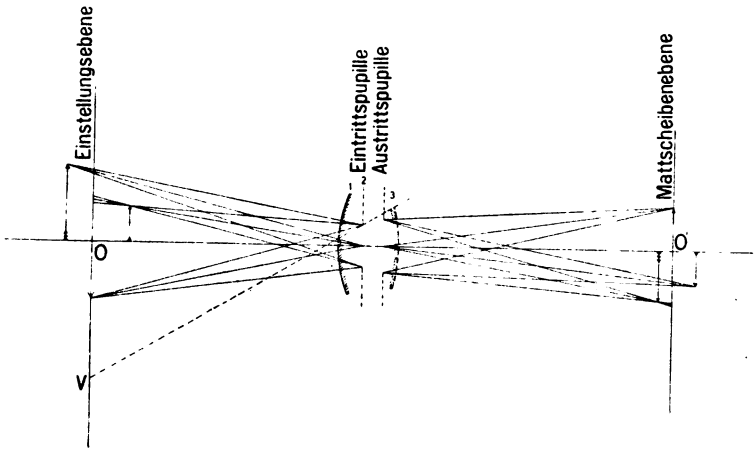



Fig. 9. Zur Ableitung des objektseitigen Abbildes.
Die vor oder hinter der Einstellungsebene liegenden Objektpunkte erscheinen auf dieser durch Zerstreuungskreise repräsentiert. Für Punkte mit einem größeren Achsenabstande als $OV$ beeinträchtigt die Blende 3 den von der Eintrittspupille durchgelassenen Strahlenkegel (sie wirkt vignettierend).

Bei der Wichtigkeit dieser ganz allgemeinen Darstellung eines Objektreliefs auf einer Ebene durch Strahlenbüschel endlicher Öffnung ist es angezeigt, auf ihre Natur etwas näher einzugehen. Aus dem vorhergehenden ist klar geworden, daß die objektseitigen Zerstreuungskreise (die von Punkten außerhalb der Einstellungsebene herrühren) keine Fehler des Systems sind; sie mindern aber selbstverständlich die Schärfe der Darstellung und können unter sonst gleichen Umständen nur durch eine Verkleinerung des Öffnungsdurchmessers der Eintrittspupille verkleinert werden. Beschränkt man nun diesen Öffnungskreis mehr und mehr (und dazu gibt es

bei einer Reihe von Instrumenten besondere Vorkehrungen), so werden die Zerstreuungskreise immer kleiner und kleiner und nähern sich schließlich immer mehr dem Durchstoßungspunkte des nach dem Objektpunkte gerichteten Hauptstrahls. Bei endlicher Blendenöffnung ist dieser Durchstoßungspunkt das Zentrum des Zerstreuungskreises, und dahin wird bei der Betrachtung unwillkürlich der Ort des durch den Zerstreuungskreis vertretenen Objektpunkts verlegt. Bei verschwindender Blendenöffnung projiziert man also zur Feststellung des objektseitigen Abbildes auf der Einstellebene alle Objektpunkte, wo sie immer gelegen sind, auf die Einstellungsebene. Die so erhaltene ebene Darstellung eines räumlichen Objekts ist aber nichts den optischen Instrumenten eigentümliches, sondern es ist einfach eine Zentralprojektion auf eine Ebene (eine perspektivische Darstellung). Die durch ein solches Verfahren bedingten Größenänderungen (Darstellung näherer Gegenstände in größerem, fernerer in kleinerem Maßstabe) sind seit Jahrhunderten in der Lehre von der Perspektive studiert worden. Bei endlicher Blendenöffnung bleibt die Perspektive ungeändert bestehen, da ja an dem Verlauf der Hauptstrahlen nichts geändert wurde. Die Schärfe der Abbildung wird aber dadurch vermindert, daß sich um jeden Punkt der Perspektive ein Zerstreuungskreis lagert, dessen Durchmesser mit dem Öffnungsdurchmesser der Eintrittspupille und außerdem mit der Entfernung des Objektpunkts von der Einstellungsebene wächst.

Faßt man den Hauptinhalt dieses Abschnittes in Worte, so erhält man die folgenden Sätze:

Das Abbildungsbereich eines fest angenommenen zentrierten optischen Systems läßt sich im Objekt- und im Bildraum durch je zwei Blendenbilder angeben, die als Pupille und als Luke zu bezeichnen sind. Während die Pupille die Öffnung der abbildenden Strahlen beschränkt, und dadurch den Begriff der Richtung auf das System zu in die vorher noch gänzlich allgemeine Lagen- und Größenbeziehung einführt, ist es die Aufgabe der Luke, das überhaupt abgebildete Raumgebiet von der Gesamtheit der Punkte zu sondern, die überhaupt keine Strahlen durch das System senden können.

Was sodann die Wiedergabe eines Raumreliefs angeht, so kann es durch ein optisches System auf dem allein zur Verfügung stehenden ebenen Auffangschirme nicht optisch abgebildet werden, sondern es läßt sich darauf nur mittels eines Projektionsvorganges zur Darstellung bringen. Das Verfahren zur Auffindung des ob-

jektseitigen Abbildes ist das einer Zentralprojektion mit der Einstellungsebene als Zeichenebene und der Mitte der Eintrittspupille als Projektionszentrum und führt auf die altbekannten Sätze der Perspektive. Werden Systeme endlicher Öffnung verwandt, so müssen die verschieden entfernten Objektpunkte mit verschiedener Schärfe dargestellt werden; nämlich die in der Einstellungsebene liegenden absolut scharf, die außer ihr je nach ihrem größeren oder geringeren Abstande mehr oder minder unscharf. Die Leistung des optischen Systems beschränkt sich dann darauf, dieses objektseitige Abbild sonst vollkommen aber in einem andern Maßstabe auf dem Auffangschirme abzubilden.

c) Die Strahlungsvermittlung. Wenn im vorhergehenden Abschnitt erörtert worden war, welche Raumgebiete überhaupt in das optische System strahlen, so sollen hier wenigstens die Prinzipien dafür angegeben werden, wie das optische System eine Energievermittlung übernehmen kann. Es handelt sich dabei um zwei verschiedene Aufgaben, je nachdem die in das System tretende Strahlenmenge oder die spezifische Intensität der das System verlassenden Strahlen berücksichtigt wird. Die ersterwähnte Strahlenmenge wird in der Regel für den eingestellten Achsenpunkt ermittelt und ergibt sich für Systeme in Luft nach dem Lambertschen Gesetz proportional $sin^2 u$, wo $u$ der halbe Winkel ist, unter dem die Eintrittspupille dem Objektpunkt erscheint. Man bezeichnet diese Größe, bei der die Lichtverluste beim Durchgang unberücksichtigt sind, als relative Lichtstärke. Berücksichtigt man auch den Verlust an spezifischer Intensität, der mit jeder Brechung und Spiegelung verbunden ist (Reflexionsverlust), so wie den weiteren, der beim Durchgang durch die Linsenmedien eintritt (Absorptionsverlust) und vermindert dementsprechend die spezifische Intensität der das System verlassenden Strahlen, so erhält man die absolute Lichtstärke eines optischen Instruments.

Näheres wird sich bei der Behandlung der einzelnen Instrumente, namentlich auf den Seiten 39, 75, 84, 111 sagen lassen.

d) Die Abbildung durch optische Instrumente. Die tatsächlich vorhandenen optischen Systeme enthalten zum weitaus größten Teile brechende Flächen; spiegelnde, von ebenen Spiegeln abgesehen, finden sich nur bei wenigen, später einzeln aufzuführenden Fällen. Dieser Abschnitt hat demnach nur Systeme zu behandeln, die aus Linsen hergestellt sind; es werden auch nur zentrierte Linsensysteme in dem oben definierten Sinne vorkommen.

1840 eine allgemeine Theorie zentrierter Linsensysteme angegeben, nach der man Lage und Größe der Bilder berechnen kann, wenn die Objekte und gewisse einfache, sogleich zu besprechende Bestimmungsstücke des Linsensystems gegeben sind. Unter den angegebenen Beschränkungen kann man nämlich von einer Strahlenvereinigung aller von einem Objektpunkte ausgehenden Strahlen in einem **Bildpunkte** sprechen, und jedem achsensenkrechten Objektelement entspricht ein achsensenkrechtes Bildelement. Man sieht leicht ein, daß für diesen fadenförmigen Raum nur die Krümmungsradien in den Linsenscheiteln in Betracht kommen, so daß sich die Gaußische Theorie auch ohne weiteres auf zentrierte Linsensysteme anwenden läßt, die von beliebigen, stetig verlaufenden **Umdrehungsflächen** begrenzt sind.

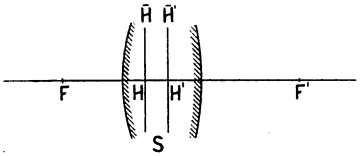



Fig. 3. Achsenschnitt durch das zentrierte System $S$ mit den Brennpunkten $F$, $F'$, den Hauptpunkten $H$, $H'$ und den in ihnen senkrecht zur Achse errichteten Hauptebenen $\overline{HH}$, $\overline{H'H'}$.

Kommt man nun auf die oben berührten Bestimmungsstücke zu sprechen, so läßt sich die Wirkung des zentrierten Systems $S$ angeben durch die vier auf der Systemachse liegenden **Kardinalpunkte**, nämlich den objektseitigen **Brennpunkt** $F$ und den bildseitigen $F'$ sowie den objektseitigen **Hauptpunkt** $H$ und den bildseitigen $H'$. (Fig. 3.) Die Strecken $FH$, $F'H'$ heißen die **Äquivalentbrennweiten**; sie sind einander gleich $HF = F'H'$, wenn sich das System in einem und demselben Mittel (etwa Luft) befindet, und voneinander verschieden, wenn die dem Objekt zugekehrte Seite des Systems an ein anderes Mittel grenzt als die dem Bilde zugewandte. Als Beispiel kann das aus Hornhaut, Kammerwasser und Augenlinse bestehende optische System des Auges angeführt werden, das auf der einen Seite an Luft, auf der andern an den Glaskörper des Auges grenzt. Die Brennpunkte haben nun die Eigenschaft, daß im Objektraume achsenparallele Strahlen in $F'$, achsenparallele Strahlen des Bildraumes in $F$ vereinigt werden. Errichtet man in den beiden Hauptpunkten $H$ und $H'$ achsensenkrechte Ebenen, die **Hauptebenen**, so sind sie zueinander **konjugiert**, d. h. sie entsprechen sich als Objekt und Bild. Objekt und Bild sind in ihnen gleich groß, die **Vergrößerung** mithin gleich eins, mit der die eine Ebene in die andere abgebildet

wird. Die Verbindungslinie zweier in den Hauptebenen liegender konjugierter Punkte $\overline{HH'}$ läuft also der Systemachse parallel.

Da nach dem Vorhergehenden alle vom Objektpunkt $\overline{O}$ in das System gesandten Strahlen sich im Bildpunkt wieder vereinigen, so läßt sich das Bild $O'\overline{O'}$ des beliebigen achsensenkrechten Objekts $O\overline{O}$ mit einer sehr einfachen geometrischen Konstruktion finden, wenn man aus allen von $\overline{O}$ ausgehenden Strahlen zwei solche auswählt, die die Konstruktion besonders bequem machen. (Fig. 4.)

Man zieht von $\overline{O}$ aus eine achsenparallele Gerade $\overline{OH}$, die man bis $\overline{H'}$ verlängert, dann muß im Bildraume der $\overline{H'}$ enthaltende

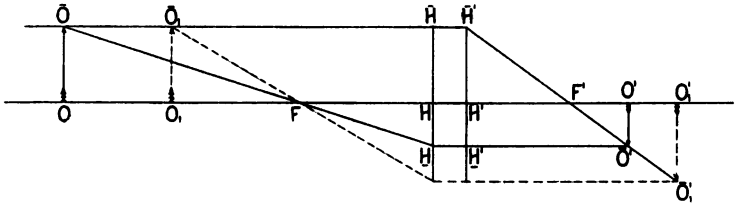



Fig. 4. Die Konstruktion des zu $O\,\overline{O}\,[O_1\,\overline{O}_1]$ gehörigen Bildes $O'\,\overline{O}'\,[O_1'\,\overline{O}_1']$ mit Hilfe der Brennpunkte und der Hauptebenen.

Strahl durch $F'$ gehen. Verbindet man aber $\overline{O}$ mit $F$ und verlängert diese Gerade bis $\underline{H}$, so muß diesem Strahle im Bildraume ein achsenparalleler entsprechen, der durch $\underline{H}$ und $\underline{H'}$ geht. Beide Strahlen des Bildraumes $\underline{H'F'}$ und $\underline{HH'}$ definieren den Bildpunkt $\overline{O'}$, von dem aus eine Senkrechte auf die Achse gefällt werden muß, um in $O'\overline{O'}$ das konjugierte Bild zu erzielen, das nach der Konstruktion dem Objekt $O\overline{O}$ ähnlich ist.

Eine genau entsprechende Konstruktion für das gleichgroße, aber dem System näher liegende Objekt $O_1\overline{O}_1$ führt auf das wiederum ähnliche Bild $O'_1\overline{O'}_1$, das aber eine andere Vergrößerung aufweist als $O'\overline{O'}$. Man sieht aus der Figur, daß hier der Objektverschiebung $OO_1$ eine gleichgerichtete Bildverschiebung $O'O'_1$ entspricht, und es mag betont werden, daß diese Beobachtung allgemeine Gültigkeit hat.

Mit dieser Konstruktion oder einem ihr entsprechenden Rechenverfahren kann man ohne Schwierigkeit zu einem in endlicher Entfernung gegebenen, räumlich ausgedehnten Objekt (Objektrelief)

das zugehörige räumliche Bild (Bildrelief) feststellen. In diesem Bildrelief sind achsensenkrechte Ebenen ähnlich wiedergegeben, dagegen ändert sich immer die Vergrößerung mit dem Abstande der Objektebene vom System.

Handelt es sich aber um ein unendlich entferntes, unter dem Winkel $w$ erscheinendes Objekt, so versagt die angegebene Konstruktion, und man muß den Umstand zu Hilfe nehmen, daß unendlich entfernte Objekte in der durch den hinteren Brennpunkt $F'$ gehenden, achsensenkrechten Brennebene abgebildet werden. Zieht man (Fig. 5) durch $F$ den Strahl, der mit der Achse den Winkel $w$ bildet, so ist das der dem fernen Objekt angehörige, durch den vorderen Brennpunkt gehende Strahl, der die vordere Hauptebene in $H$ schneidet und im Bildraume die Richtung $HH'$ einschlagen

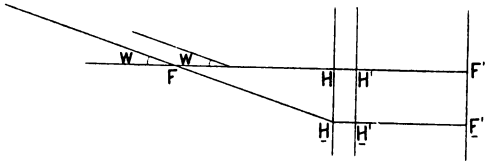



Fig. 5. Die Bildkonstruktion für ein weit entferntes, unter dem Winkel $w$ erscheinendes Objekt.

muß. Er schneidet in der hinteren Brennebene den Punkt $F'$ aus, der das Bild des entfernten Objektpunktes ist.

Liegt der Bildpunkt im Sinne der Lichtrichtung hinter der letzten Fläche des Systems, etwa wie $F'$ in der Figur 3, so heißt er reell, und man kann ihn auf einem Schirme auffangen; liegt er im Sinne der Lichtrichtung vor der letzten Fläche, wie beispielsweise bei dem durch einen ebenen Spiegel entworfenen Spiegelbilde eines körperlichen Objekts, so läßt er sich nicht auffangen, und man nennt ihn virtuell.

Die Konstruktionen sind bis jetzt unter der stillschweigend gemachten Voraussetzung durchgeführt worden, daß es sich um Sammellinsen handele, oder um Linsen mit positiver Brennweite. Das sind für die praktische Optik auch die wichtigsten Systeme. Ihnen stehen die Zerstreuungslinsen gegenüber, die eine negative Brennweite haben, was sich in der Fig. 6 dadurch äußert, daß die gestrichelten Buchstaben und die ungestrichelten ihre Seiten vertauschen. Für Zerstreuungslinsen lassen sich genau die gleichen Konstruktionen

durchführen, was an dem Parallelfall in Fig. 6 gezeigt sei, für den der zu Fig. 4 gehörige Text wörtlich gilt. Man sieht aus dieser Figur leicht, daß Negativlinsen von reellen Objekten virtuelle, aufrechte Bilder ergeben.

Zuerst J. Clerk Maxwell 1856, dann E. Abbe seit 1871 haben die Gaußische Abbildung auf endlich geöffnete Systeme und Objektpunkte von endlichem Achsenabstande ausgedehnt, und namentlich der Letztgenannte hat gezeigt, daß aus der bloßen Voraussetzung einer eindeutigen, durch geradlinige Strahlen vermittelten Abbildung die Gesetze der Gaußischen Abbildung in aller Strenge folgen, ohne daß über ihre Verwirklichung irgend eine Annahme gemacht werde. Tatsächlich bedeutet diese Erkenntnis aber keine Erweiterung des Gaußischen Abbildungsgebietes, denn es läßt sich für Systeme endlicher Öffnung oder endlichen Feldes jene Voraussetzung der Eindeutigkeit eben nicht in aller Strenge erfüllen. Somit hat diese Theorie ihre Hauptbedeutung

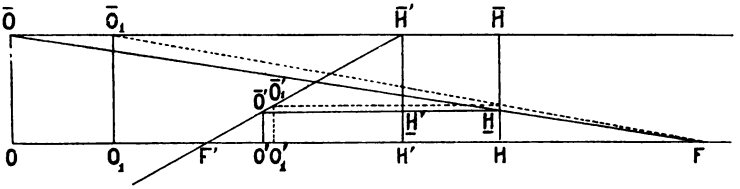



Fig. 6. Die Bildkonstruktion bei einem zerstreuenden System.

darin, daß mit ihr ein Idealbild der Leistung optischer Systeme gegeben ist, und bei der eingehenden Beschreibung der einzelnen Instrumente kann man darauf eingehen, in welchen Punkten die durch sie vermittelte Abbildung von der idealen abweicht.

b) Die Strahlenbegrenzung. Der eben behandelte, sehr wichtige Zusammenhang zwischen Objekt und Bild folgte aus der allgemeinen Annahme einer durch geradlinige Strahlen vermittelten, fehlerfreien Abbildung; er reicht aber zum Verständnis der Wirkungsweise der optischen Instrumente nicht aus, weil bei seiner Ableitung zwei Umstände gar nicht berücksichtigt werden, die sich bei allen optischen Instrumenten vorfinden. Es ist das einmal die stets irgendwie beschränkte Größe der Linsendurchmesser und dann das Vorhandensein eines flächenhaft ausgedehnten Auffangschirms (sei es der Mattscheibe einer photographischen Kamera oder der Netzhaut des Auges), auf dem in der Regel das Objektrelief zur Darstellung kommt, denn nur selten liegen alle Objektpunkte in einer Ebene, so daß sie auf dem Auffangschirme wirklich abgebildet werden können. Die Berücksichtigung dieser Verhältnisse

ist im Anschlusse an die grundlegenden Untersuchungen E. Abbes zu geben, und sie wird zur Ableitung wichtiger, allen optischen Instrumenten gemeinsamer Eigenschaften führen.

**Die Folgen der Beschränktheit der Linsendurchmesser und der Blendenöffnungen.** Durch die Begrenzung der Linsendurchmesser werden, wie unmittelbar ersichtlich ist, ganz bestimmte Gruppen aus der Strahlenmenge eines leuchtenden Punktes ausgewählt und für die Abbildung dienstbar gemacht, Strahlengruppen, die durchaus nicht das oben zur Bildkonstruktion benutzte Strahlenpaar enthalten müssen.

Ein zentriertes optisches System $S$ sei unbeweglich vor einem beliebigen Objektrelief vorausgesetzt, das später durch Pfeile repräsentiert werden wird. Dann erscheint einem an den Achsenort $O$ des wichtigsten Objektteils gebrachten Auge eine bestimmte der in $S$ enthaltenen Blenden oder Fassungen unter einem kleineren Winkel als alle übrigen. (Fig. 7.) Diese Blende oder Fassung kann direkt gesehen werden, wenn sie zwischen $S$ und $O$ liegt (eine Vorderblende ist), liegt sie im Innern des Systems $S$ (ist sie eine Innenblende), so wirkt sie auf das in $O$ befindliche Auge nicht direkt, sondern durch ihr von den voraufgehenden Systemteilen entworfenes, meist virtuelles Bild. Unter all diesen kegelförmigen Gesichtswinkeln, deren Spitzen sämtlich in $O$, deren meist kreisförmige Basen entweder je in einer Blende selbst oder in ihrem Bilde liegen, wird der ausgewählt, dessen Öffnungswinkel am kleinsten ist, und die zu ihm gehörige Basis die **Eintrittspupille** des Instruments genannt. Alle im Objektraume nach dieser Eintrittspupille zielenden Strahlen werden dann von den anderen objektseitigen Blendenbildern durchgelassen. Auch läßt sich nachweisen, daß das vom ganzen Instrument entworfene Bild der Eintrittspupille, von dem zugehörigen Bildorte $O'$ betrachtet, ebenfalls kleiner erscheint, als die übrigen bildseitigen Blenden oder die sie vertretenden Bilder. In Übereinstimmung mit dem Vorhergehenden

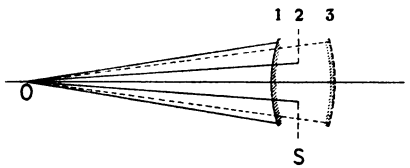



Fig. 7. Schema für die Aufsuchung der Eintrittspupille.
Es seien drei Blenden vorhanden: 1. die vordere Fassung der ersten Linse (sie ist direkt sichtbar), 2. das Bild einer Innenblende, 3. das Bild des Fassungsrandes der letzten Linse (die zu 2 u. 3 gehörigen Blenden sind von $O$ aus direkt nicht sichtbar). In diesem Falle ist 2 die Eintrittspupille. Wäre 2 nicht vorhanden, so würde 3 die Eintrittspupille sein.

wird dieses Bild die Austrittspupille des Instruments genannt, und ebenso wie oben werden alle aus der Eintritts- in die Austrittspupille gelangenden Strahlen von den bildseitigen Blendenbildern durchgelassen.

Macht man nun, um die Seitenausdehnung des Abbildungsbereichs festzustellen, die Annahme, daß das beobachtende Auge in die Mitte der Eintrittspupille gebracht worden sei, so werden ihm die übrigen objektseitigen Blendenbilder gleichsam als kreisrunde, zur Achse konzentrische Fenster oder Luken von verschiedener scheinbarer Größe erscheinen. Es sei wiederum das kleinste ausgewählt, weil ja nur die von diesem durchgelassenen Strahlen das System durchsetzen können, und es sei als Eintrittsluke $L$ bezeichnet. Setzt man nunmehr der Einfachheit wegen wiederum nur eine einzige Eintrittsluke als wirksam voraus, so sieht man leicht ein (Fig. 8.), daß die beiden Öffnungen $L$ und $P$ den Objektraum in vier Gebiete teilen, nämlich eines A, wo die ganze Apertur von Achsenpunkten gilt, eines B, wo die Verminderung nur soweit geht, daß noch die Strahlen durch die Pupillenmitte hindurchtreten, eines C, wo die Apertur allmählich bis auf Null abnimmt, und eines D, wo gar keine Strahlen mehr das System durchsetzen können. Das Bereich D scheidet also für das System aus, da seine Punkte von dem betrachteten System überhaupt nicht mehr abgebildet werden können.

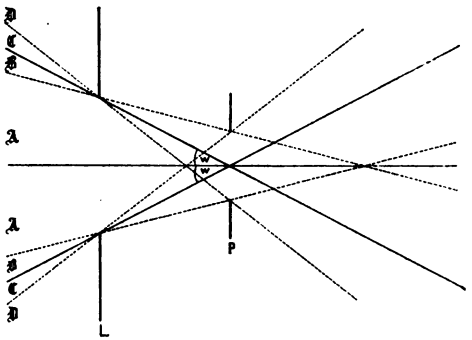



Fig. 8. Die Einteilung des Objektraums in vier Gebiete von verschiedener Apertur infolge des Vorhandenseins einer Eintrittspupille und einer Eintrittsluke.

Wie man aus der Figur sieht, hängen B und C von der Größe des Durchmessers der Eintrittspupille ab; nimmt man diese, wie es häufig geschieht, klein an, beschränkt sich also praktisch auf die Mitte der Eintrittspupille, so schwinden B und C auf enge Gebiete zusammen, und man erhält durch die Einführung der Eintrittsluke $L$ die Trennung des gesamten Objektraums in nur zwei Gebiete, deren eines, A, die Punkte enthält, die abgebildet werden,

und deren anderes, D, die Punkte umfaßt, die nicht abgebildet werden. Den Winkelraum $2w$ des erstgenannten Bereichs bezeichnet man dann als Gesichtsfeldwinkel. Bei endlich geöffneter Blende behält er seine Bedeutung für das Strahlenbüschel der Pupillenmitte, d. h. das Büschel der Hauptstrahlen. Die Gebiete B und C pflegt man als die zunehmender Vignettierung zu bezeichnen.

Genau die gleichen Verhältnisse gelten infolge der eindeutigen Abbildung auch für den Bildraum, auch hier erscheint die Austrittsluke $L'$ von $P'$ aus betrachtet unter einem kleineren Winkel $w'$ als irgendein anderes bildseitiges Blendenbild.

Die Folgen der Beschränkung des Bildraums auf eine Ebene. Im allgemeinen Falle werden optische Instrumente für die Betrachtung räumlich ausgedehnter Objekte (eines Objektreliefs) verwandt, von denen sie also ein Bildrelief entwerfen; der Fall, daß die Objektpunkte alle in einer Ebene liegen (Sternenhimmel, Mikrotomschnitte), ist verhältnismäßig selten. Wie oben bereits bemerkt, bringt man (Fig. 9.) in den Bildraum stets eine Auffangfläche, als die hier stets eine achsensenkrechte Ebene gelten soll, die Mattscheibenebene $O'$. Schneidet man mit ihr die von der Austrittspupille ausgehenden und nach den Bildpunkten gerichteten Strahlenbüschel, so entsteht auf ihr eine aus Punkten und Flecken (bei den gewöhnlichen, mit zentrierten Blenden versehenen Systemen aus Punkten und Zerstreuungskreisen) zusammengesetzte Darstellung. Der ganzen Anlage dieser Schrift entspricht es, das dieser Darstellung konjugierte Objekt aufzusuchen, das ja auf der achsensenkrechten Objektebene $O$ liegen muß, die der Mattscheibenebene $O'$ konjugiert ist. Sie sei als Einstellungsebene $O$ bezeichnet. Da den nach den Bildpunkten zielenden Kreiskegeln aus der Austrittspupille die von den Objektpunkten nach der Eintrittspupille gerichteten Öffnungskegel entsprechen, so ergibt sich das gesuchte Objekt als die Schnittfigur jener von den Objektpunkten ausgehenden Kegelbüschel mit der Einstellungsebene. Dieses Gebilde sei als das objektseitige Abbild des Objektreliefs bezeichnet. Es wird (unbewußt) in demselben Augenblick eindeutig bestimmt, wo man irgendein optisches Instrument an irgendeiner Stelle auf irgendein räumliches Objekt richtet, denn dadurch setzt man eben eine Eintrittspupille nach Lage und Größe fest und gibt die Entfernung an, in der die Einstellungsebene liegen soll. Die ganze Wirksamkeit des optischen Instruments beschränkt sich dann darauf, dieses aus Punkten und Zerstreuungskreisen bestehende objektseitige Ab-

bild in dem oben beschriebenen, wenn auch nicht genannten, bildseitigen Abbild abzubilden. Da dieses dem objektseitigen Abbild streng ähnlich ist, so wird es auch als seine Kopie, kurz als die **Abbildskopie** bezeichnet. Vorgreifend sei bemerkt, daß man diese Kopie eben infolge dieser geometrischen Ähnlichkeit in das objektseitige Hauptstrahlenbüschel bringen kann, das ja von der Mitte der Eintrittspupille ausgeht, nnd daß sie dann Punkt für Punkt mit dem objektseitigen Abbild und damit auch mit dem Objektrelief selbst perspektivisch liegt.

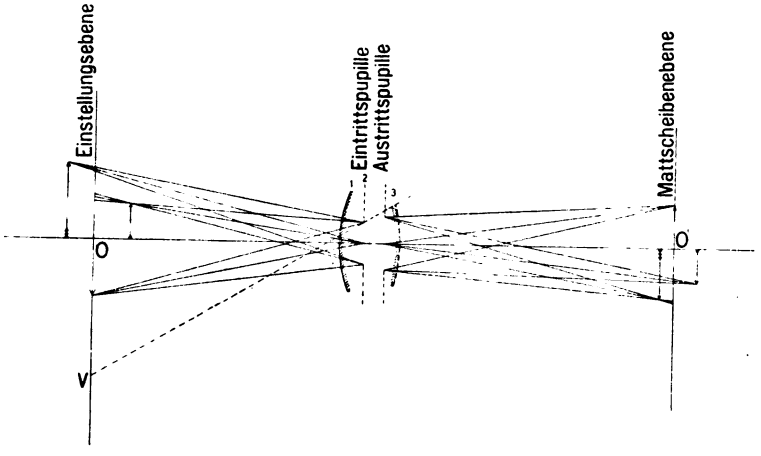



Fig. 9. Zur Ableitung des objektseitigen Abbildes.
Die vor oder hinter der Einstellungsebene liegenden Objektpunkte erscheinen auf dieser durch Zerstreuungskreise repräsentiert. Für Punkte mit einem größeren Achsenabstande als $OV$ beeinträchtigt die Blende 3 den von der Eintrittspupille durchgelassenen Strahlenkegel (sie wirkt vignettierend).

Bei der Wichtigkeit dieser ganz allgemeinen Darstellung eines Objektreliefs auf einer Ebene durch Strahlenbüschel endlicher Öffnung ist es angezeigt, auf ihre Natur etwas näher einzugehen. Aus dem vorhergehenden ist klar geworden, daß die objektseitigen Zerstreuungskreise (die von Punkten außerhalb der Einstellungsebene herrühren) keine Fehler des Systems sind; sie mindern aber selbstverständlich die Schärfe der Darstellung und können unter sonst gleichen Umständen nur durch eine Verkleinerung des Öffnungsdurchmessers der Eintrittspupille verkleinert werden. Beschränkt man nun diesen Öffnungskreis mehr und mehr (und dazu gibt es

bei einer Reihe von Instrumenten besondere Vorkehrungen), so werden die Zerstreuungskreise immer kleiner und kleiner und nähern sich schließlich immer mehr dem Durchstoßungspunkte des nach dem Objektpunkte gerichteten Hauptstrahls. Bei endlicher Blendenöffnung ist dieser Durchstoßungspunkt das Zentrum des Zerstreuungskreises, und dahin wird bei der Betrachtung unwillkürlich der Ort des durch den Zerstreuungskreis vertretenen Objektpunkts verlegt. Bei verschwindender Blendenöffnung projiziert man also zur Feststellung des objektseitigen Abbildes auf der Einstellebene alle Objektpunkte, wo sie immer gelegen sind, auf die Einstellungsebene. Die so erhaltene ebene Darstellung eines räumlichen Objekts ist aber nichts den optischen Instrumenten eigentümliches, sondern es ist einfach eine Zentralprojektion auf eine Ebene (eine perspektivische Darstellung). Die durch ein solches Verfahren bedingten Größenänderungen (Darstellung näherer Gegenstände in größerem, fernerer in kleinerem Maßstabe) sind seit Jahrhunderten in der Lehre von der Perspektive studiert worden. Bei endlicher Blendenöffnung bleibt die Perspektive ungeändert bestehen, da ja an dem Verlauf der Hauptstrahlen nichts geändert wurde. Die Schärfe der Abbildung wird aber dadurch vermindert, daß sich um jeden Punkt der Perspektive ein Zerstreuungskreis lagert, dessen Durchmesser mit dem Öffnungsdurchmesser der Eintrittspupille und außerdem mit der Entfernung des Objektpunkts von der Einstellungsebene wächst.

Faßt man den Hauptinhalt dieses Abschnittes in Worte, so erhält man die folgenden Sätze:

Das Abbildungsbereich eines fest angenommenen zentrierten optischen Systems läßt sich im Objekt- und im Bildraum durch je zwei Blendenbilder angeben, die als Pupille und als Luke zu bezeichnen sind. Während die Pupille die Öffnung der abbildenden Strahlen beschränkt, und dadurch den Begriff der Richtung auf das System zu in die vorher noch gänzlich allgemeine Lagen- und Größenbeziehung einführt, ist es die Aufgabe der Luke, das überhaupt abgebildete Raumgebiet von der Gesamtheit der Punkte zu sondern, die überhaupt keine Strahlen durch das System senden können.

Was sodann die Wiedergabe eines Raumreliefs angeht, so kann es durch ein optisches System auf dem allein zur Verfügung stehenden ebenen Auffangschirme nicht optisch abgebildet werden, sondern es läßt sich darauf nur mittels eines Projektionsvorganges zur Darstellung bringen. Das Verfahren zur Auffindung des ob-

jektseitigen Abbildes ist das einer Zentralprojektion mit der Einstellungsebene als Zeichenebene und der Mitte der Eintrittspupille als Projektionszentrum und führt auf die altbekannten Sätze der Perspektive. Werden Systeme endlicher Öffnung verwandt, so müssen die verschieden entfernten Objektpunkte mit verschiedener Schärfe dargestellt werden; nämlich die in der Einstellungsebene liegenden absolut scharf, die außer ihr je nach ihrem größeren oder geringeren Abstande mehr oder minder unscharf. Die Leistung des optischen Systems beschränkt sich dann darauf, dieses objektseitige Abbild sonst vollkommen aber in einem andern Maßstabe auf dem Auffangschirme abzubilden.

c) Die Strahlungsvermittlung. Wenn im vorhergehenden Abschnitt erörtert worden war, welche Raumgebiete überhaupt in das optische System strahlen, so sollen hier wenigstens die Prinzipien dafür angegeben werden, wie das optische System eine Energievermittlung übernehmen kann. Es handelt sich dabei um zwei verschiedene Aufgaben, je nachdem die in das System tretende Strahlenmenge oder die spezifische Intensität der das System verlassenden Strahlen berücksichtigt wird. Die ersterwähnte Strahlenmenge wird in der Regel für den eingestellten Achsenpunkt ermittelt und ergibt sich für Systeme in Luft nach dem Lambertschen Gesetz proportional $\sin^2 u$, wo $u$ der halbe Winkel ist, unter dem die Eintrittspupille dem Objektpunkt erscheint. Man bezeichnet diese Größe, bei der die Lichtverluste beim Durchgang unberücksichtigt sind, als relative Lichtstärke. Berücksichtigt man auch den Verlust an spezifischer Intensität, der mit jeder Brechung und Spiegelung verbunden ist (Reflexionsverlust), so wie den weiteren, der beim Durchgang durch die Linsenmedien eintritt (Absorptionsverlust) und vermindert dementsprechend die spezifische Intensität der das System verlassenden Strahlen, so erhält man die absolute Lichtstärke eines optischen Instruments.

Näheres wird sich bei der Behandlung der einzelnen Instrumente, namentlich auf den Seiten 39, 75, 84, 111 sagen lassen.

d) Die Abbildung durch optische Instrumente. Die tatsächlich vorhandenen optischen Systeme enthalten zum weitaus größten Teile brechende Flächen; spiegelnde, von ebenen Spiegeln abgesehen, finden sich nur bei wenigen, später einzeln aufzuführenden Fällen. Dieser Abschnitt hat demnach nur Systeme zu behandeln, die aus Linsen hergestellt sind; es werden auch nur zentrierte Linsensysteme in dem oben definierten Sinne vorkommen.

Die brechenden Flächen sind fast ohne Ausnahme Umdrehungsflächen, und nur bei den Brillengläsern werden sich andere als solche finden. Unter den Umdrehungsflächen überwiegen bei weitem die sphärischen oder Kugelflächen, und erst in den letzten Jahren ist man zur regelmäßigen Herstellung anderer Umdrehungsflächen (paraboloischer, elliptischer, allgemein asphärischer) übergegangen.

Das Material zu den Linsen ist hauptsächlich Glas, das für die Anforderungen der Optik (als optisches Glas) möglichst gleichmäßig im Brechungsvermögen und meistens auch möglichst farblos herzustellen ist. Scharf begrenzte Unregelmäßigkeiten wie Steinchen, Bläschen schaden weniger, zu vermeiden sind aber Verschiedenheiten im Brechungsexponenten (Schlieren, Wellen). Für die Zwecke der Optik werden die Glasarten definiert durch ihre Brechung, durch ihre Zerstreuung oder Dispersion, die die Differenz der Brechungsexponenten für verschiedenfarbiges Licht angibt, und schließlich durch ihr Vermögen, einen Teil der Strahlen zurückzuhalten, oder ihre Absorption.

Die Brechung wird gemessen durch den Brechungsexponenten oder Brechungsindex des gelben Lichts; und zwar gilt die Beziehung:

$$\text{Brechungsexponent} = \frac{\text{Wellenlänge des gelben Lichts in Luft}}{\text{Wellenlänge des gelben Lichts in Glas}}.$$ [1])

Bei den gebräuchlichen Glasarten variiert der Brechungsexponent zwischen den Grenzen 1,49 und 1,65.

Infolge der Farbenzerstreuung oder Dispersion wächst er, wenn man von rotem Licht (der Fraunhoferschen Linie *C*) zu blauem (der Linie *F*), allgemein von Licht längerer zu solchem kürzerer Wellenlänge, übergeht. In der rechnenden Optik gibt man in der Regel nicht die Dispersion direkt an, sondern eine für die rechnerische Verwertung bequemere Größe, das Zerstreuungsvermögen. Dies ist in folgender Weise definiert:

$$\text{Zerstreuungsvermögen} = \frac{\text{Differenz d. Brechungsexponenten zwischen rot u. blau}}{\text{Brechungsexponent minus 1}}.$$

1) Die Wellenlängen $\lambda$ des Lichts werden in Tausendteln von Millimetern gemessen. Diese Einheit $\mu = 0{,}001$ mm wird nach J. B. Listing Mikron genannt; rotes Licht (*C*) mag durch eine Wellenlänge $\lambda = 0{,}656\,\mu$, gelbes (*D*) durch $\lambda = 0{,}589\,\mu$, blaues (*F*) durch $\lambda = 0{,}486\,\mu$ und violettes (*G'*) durch $\lambda = 0{,}434\,\mu$ charakterisiert werden.

Bei den in der praktischen Optik regelmäßig verwendeten Glasarten variiert das Zerstreuungsvermögen zwischen 1/65 und 1/34, und zwar entsprechen diese beiden Zahlen den beiden oben angegebenen Brechungsexponenten. Setzt man für das erste Glas die mitgeteilten Werte ein, so folgt aus

$$\frac{1}{65} = \frac{\text{Differenz der Brechungsexponenten zwischen rot und blau}}{0{,}49};$$

$$\text{Differenz d. Brechungsexponenten zwischen rot u. blau} = \frac{0{,}49}{65} = 0{,}0075$$

und für das andere Glas

$$\text{Differenz d. Brechungsexponenten zwischen rot u. blau} = \frac{0{,}65}{34} = 0{,}0191.$$

Eine einzelne aus Glas hergestellte Linse (beispielsweise ein Brillenglas) bildet nun aber durchaus nicht mit einer so idealen Vollkommenheit der Strahlenvereinigung ab, wie sie im Vorhergehenden vorausgesetzt wurde; sie zeigt sowohl Farbenfehler (farbige Ränder, chromatische Aberrationen) als auch eine mangelhafte Vereinigung der Strahlen einer einzelnen Farbe (allgemeine Unschärfe, sphärische oder besser monochromatische Aberrationen). Aus dem letzten Grunde sind die oben unter anderen Voraussetzungen abgeleiteten Sätze auf Einzellinsen nicht so ohne weiteres anwendbar.

Die Hebung des für das Auge hauptsächlich in Betracht kommenden Anteiles der chromatischen Aberration durch die Vereinigung der Farben Rot und Blau gelang zuerst in England, und zwar bereits 1729 dem Theoretiker Chester Moor Hall, dann 1757 dem praktischen Optiker John Dollond durch die Verbindung einer Sammellinse aus altem Kron (einer Glasart mit niedriger Brechung und niedrigem Zerstreuungsvermögen) und einer Zerstreuungslinse aus altem Flint (einer Glasart mit hoher Brechung und hohem Zerstreuungsvermögen). Auf diesem Standpunkte blieb die praktische Optik notgedrungen stehen, weil ihr die hauptsächlich in Frankreich und England ausgeübte Schmelzkunst keine neuen Glasarten zur Verfügung stellte, denn die Verbesserungsversuche von J. Fraunhofer und W. V. Harcourt blieben ohne Folgen. Erst die auf E. Abbes Anregung und Mitwirkung zurückzuführende Eröffnung des Jenaer Glaswerks von Schott & Gen. schuf hier Wandel. Im Jahre 1885 wurden zuerst neben anderen auch solche Glasarten zum Kaufe angeboten,

die eine weit feinere Korrektion der chromatischen Abweichungen (Hebung des sekundären Spektrums) ermöglichten.

Hinsichtlich der monochromatischen Aberrationen ist zu bemerken, daß man überhaupt von einer Strahlenvereinigung im strengen Sinne meist nicht mehr sprechen kann, sobald man den fadenförmigen Raum der Gaußischen Abbildung verläßt. Das gilt stets, sei es, daß es sich bei axialen Objektpunkten um weitgeöffnete Büschel handelt, oder daß für Systeme mit großem Gesichtsfelde Hauptstrahlneigungen von großem Betrage vorkommen. Es tritt dann immer die Erscheinung ein, daß einem Objektpunkt auf einem Bildschirm ein Lichtfleck von verhältnismäßig beträchtlicher Ausdehnung entspricht, in dem eine ganz ungleichmäßige Lichtverteilung zu bemerken ist. Um einen hellen Kern, der als das Bild des Objektpunkts aufgefaßt wird, breitet sich ein weniger heller aber ausgedehnter Lichtfleck aus. Da aber sowohl das Auge wie die photographische Platte „hart" arbeiten, d. h. nur Lichteindrücke aufnehmen, deren Intensität über eine gewisse Grenze hinausgeht, so kommt es, daß dem Auge ein theoretisch unvollkommenes Bild doch von hoher Schärfe erscheint, wenn nur das Lichtgefälle in dem Teile der stärksten Lichtkonzentration sehr stark ist. A. Gullstrand hat das Verdienst, auf diese Verhältnisse im allgemeinen und namentlich darauf hingewiesen zu haben, von welcher gewaltigen Bedeutung sie sind. Denn da man jedes optische Instrument so benutzt, daß man einen Schirm in den Weg der Lichtstrahlen bringt, und die Lichtverteilung auf sich wirken läßt, so ist es nötig, diese Lichtverteilung in den Zerstreuungsfiguren genauer zu studieren. Ihrem Wesen nach ist sie eine Projektion auf dem Auffangeschirm, und er nennt sie zum Unterschiede von dem einfachen Falle einer geometrischen eine optische Projektion. Konsequenterweise spricht er nicht von der Vergrößerung von Bild- und Objektflächen, sondern von dem Verhältnis der Projektionen, wenn er beispielsweise das objektseitige Abbild mit der Darstellung vergleicht, die auf der Mattscheibe entsteht. Da bei enger Blende einem jeden Punkt des objektseitigen Abbildes ein einziger Schirmpunkt (eigentlich bei kleiner endlicher Öffnung ein kleiner heller Fleck auf dem Schirm) entspricht, so spricht A. Gullstrand dann von einer punktuellen Korrespondenz und versteht darunter die bei enger Blende eindeutige und eindeutig umkehrbare Beziehung zwischen dem objektseitigen Abbilde und der Darstellung auf dem Schirm. Bei den optischen Instrumenten der Technik wird man meistens die Forderung aussprechen, daß jene Darstellung dem objektseitigen Abbilde ähnlich sei, und man nennt sie dann eben die Abbildskopie (s. S. 9).

Die Bedingungen dafür, daß bei einem Schirm auch bei endlicher Systemöffnung eine möglichst scharfe Darstellung erscheine, sind um so zahlreicher, je größer die Öffnung der abbildenden Büschel gewählt wird. Bei kleiner Öffnung handelt es sich zunächst um die Fehler des Astigmatismus; bei etwas größerer kommen die der Koma in Betracht, und bei der nächsten Stufe handelt es sich um die der Aberration im engeren Sinne. Ist der Schirm,

wie das in der Regel der Fall ist, eben, so muß nicht nur der Astigmatismus vernichtet, sondern auch das Feld geebnet werden. Die soeben erwähnte Forderung einer dem objektseitigen Abbilde ähnlichen Abbildskopie ist zwar ein Problem der Projektion, wird aber in der Optik als Freiheit des Bildes von Verzeichnung oder von Distortion eingeführt.

Es sei hier bemerkt, daß man Instrumente mit einem kleinen, auf die Nachbarschaft der Achse beschränkten Felde wie das Mikroskop und das Fernrohr schon seit langer Zeit hergestellt hat. Apparate mit größerem Gesichtsfelde und gleichzeitig ansehnlicher Öffnung wurden zuerst verlangt, als die 1839 veröffentlichten photographischen Verfahren das Bedürfnis nach neuen Instrumenten erweckten. J. Petzval war es, der in den Jahren von 1840 bis 1842 die ersten und gleich sehr erfolgreichen Schritte zur Lösung dieser Aufgabe tat.

## II. Das Auge und sein Gebrauch beim Sehen.

Das zweifellos wichtigste optische Instrument ist das Auge. Hier wird nicht nur die optische Einrichtung des Einzelauges, sondern auch der Vorgang beim Sehen zu schildern sein. Dabei wird es sich namentlich handeln um die Bedeutung der raschen, leichten Beweglichkeit des Einzelauges in seiner Höhle und um das Zusammenwirken beider Augen. Bei der Besprechung dieser verschiedenen Punkte werden die Mittel kenntlich werden, durch die ein — optisch gesprochen — ziemlich unvollkommenes Instrument zu so hervorragend genauen Leistungen befähigt wird.

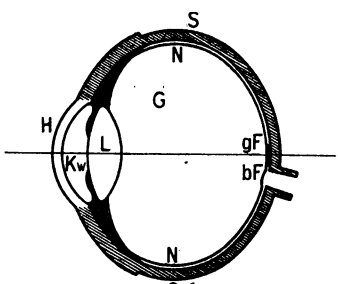



Fig. 10. Das rechte Auge im Horizontalschnitt. *H* Hornhaut, *S S* Sehnenhaut, *Kw* Kammerwasser, *L* Linse, *G* Glaskörper, *N N* Netzhaut, *g F* gelber Fleck, *b F* blinder Fleck.

a) Das Auge als ruhendes optisches System.[1]) (Fig. 10.) Von den in das Auge tretenden Lichtstrahlen wird zuerst die Hornhaut getroffen; sie bildet den vorderen, stärker gewölbten Teil der Sehnenhaut, von der der Augapfel ganz umschlossen ist.

1) Genaueres findet sich in C. Kreibig, Die fünf Sinne des Menschen. 2. Aufl. S. 80—84. (Nr. 27 dieser Sammlung.)

Die Hornhaut dient als vorderer Teil der Augenkammer, die mit dem Kammerwasser gefüllt ist. Der hintere Abschluß der Augenkammer wird von der Iris gebildet, an die sich die Linse anlegt, deren Flächen beim normalen Auge (wie bald besprochen werden wird) auch stärker gekrümmt werden können.[1]) An ihre Hinterfläche schließt sich der Glaskörper, eine gallertartige Masse, die den Hauptraum des Auges bis zur Netzhaut ausfüllt. Die Netzhaut wird von den Verästelungen des Sehnerven (Stäbchen und Zäpfchen) gebildet, sie ist der lichtempfindliche Teil des Auges. Die Fähigkeit, Einzelheiten zu unterscheiden, ist auf den verschiedenen Teilen der Netzhaut sehr verschieden; am größten ist sie auf dem gelben Fleck, namentlich in seiner Mitte, der Netzhautgrube, und sie nimmt nach den Randteilen ab. Da, wo der Strang des Sehnerven in die Netzhaut eintritt, ist überhaupt keine Lichtempfindung vorhanden; man bezeichnet diese Stelle daher als blinden Fleck.

Wie schon auf S. 2 erwähnt wurde, grenzt also das aus Hornhaut, Kammerwasser und Linse gebildete optische System des Auges an zwei verschiedene Mittel, nämlich nach vorn an Luft und nach hinten an den Glaskörper des Auges. Seine beiden Brennweiten sind demnach nicht gleichlang, und es ist eine vordere Brennweite (gegen Luft) von einer hinteren (gegen den Glaskörper) zu unterscheiden. Setzt man ein normales Auge im Ruhezustande[2])

1) Zu beachten ist, daß die Linse bei Kindern und jungen Leuten unter Zwanzig aus sehr dünnen Schichten besteht, in denen der Brechungsexponent nach der Linsenmitte zu stetig zunimmt. Bei Personen über Zwanzig sondern, wie der Würzburger Ophthalmologe C. Heß gezeigt hat, zwei Sprungflächen einen Linsenkern von einer Rindenschicht ab; jeder Teil der Rindenschicht hat den Charakter eines auf der Achse sehr dünnen Zerstreuungsmeniskus. Da die Wirkungsweise eines solchen, nicht überall den gleichen Brechungsexponenten aufweisenden Systems schwer zu übersehen ist, so führt man zur leichteren Übersicht den Totalindex ein. Er ist so bestimmt, daß eine Augenlinse aus einem solchen einfachen Mittel bei gleichen Außenkrümmungen dem optischen System des ganzen Auges die gleiche Brennweite verleiht. Bei einem Brechungsexponenten der Hornhaut von 1,376, des Kammerwassers und des Glaskörpers von 1,336, ergibt sich ein Totalindex von 1,4085 für die Linse bei entspannter Akkommodation.

2) Ein normales Auge im Ruhezustande sammelt die von entfernten Objektpunkten ausgesandten Strahlen auf der Netzhaut; ist der Augapfel zu lang gebaut, so daß die Strahlen vorher im Glaskörper vereinigt werden, so nennt man das Auge kurzsichtig (myopisch), ist er im entgegengesetzten Falle zu kurz, so daß sich die Strahlen erst hinter

voraus, so beträgt im Mittel seine vordere Brennweite 17,1, seine hintere 22,8 mm. Mit Hilfe der auf S. 3 angegebenen Methode würden sich also Bildgröße und -lage für dieses an zwei verschiedene Mittel grenzende System ohne besondere Schwierigkeiten ermitteln lassen.

Ein gesundes Auge ist im allgemeinen als ein zentriertes System anzusehen, da die Abweichungen von diesem Zustande bei normalen Augen so gering sind, daß sie hier nicht behandelt zu werden brauchen; die Augenachse geht durch den Linsenscheitel, steht senkrecht auf der Mitte der Iris und durchstößt die Netzhautgrube. Eine Strahlenvereinigung im strengen Sinne (Aufhebung der sphärischen Abweichungen) findet nicht einmal für die von Achsenpunkten ausgehenden Büschel statt, sondern es bilden sich auf der Netzhaut Aberrationsfiguren. Von besonderem Interesse sind diese namentlich bei der Betrachtung heller Punkte auf dunklem Untergrunde. Es ergibt sich dabei infolge der nicht spannungsfreien Aufhängung der Linse am Ziliarkörper eine vier- oder achtstrahlige Sternfigur, deren physikalische Theorie von A. Gullstrand gegeben werden konnte. Daß die Aberrationsfiguren die Sehschärfe nicht mehr stören, liegt einmal daran, daß sich die Iris bei heller Beleuchtung zusammenzieht und dadurch mit der Öffnung des optischen Systems auch die Größe der Aberrationsfiguren verringert; andererseits aber ist die Lichtverteilung in der Aberrationsfigur durchaus nicht gleichmäßig, und der hellste, für die Gesichtswahrnehmung wichtigste Teil hat nur eine kleine Ausdehnung. Die Fehler der schiefen Büschel aber sind darum nicht so auffällig, weil, wie bereits erwähnt, die Empfindlichkeit der Netzhaut nach außen hin rasch abnimmt. Auch auf Farbenfreiheit ist das optische System des Auges nicht korrigiert, es zeigt chromatische Fehler gleicher Art wie eine einfache Sammellinse. Daß diese Farben nicht sehr auffallen, liegt daran, daß das Menschenauge nur für einen verhältnismäßig schmalen Farbenbezirk, die gelben und grünen Strahlen, sehr empfindlich ist. Die von den roten und blauen Strahlen herrührenden Farbenkreise werden in der Regel nicht beachtet.

---

der Netzhaut vereinigen würden, so nennt man das Auge übersichtig (hypermetropisch). Der Grund dieser Regelwidrigkeiten (Ametropien) liegt hauptsächlich in einer anomalen Verlängerung der Augenachse bei Myopen, in einer anomalen Verkürzung der Augenachse bei Hypermetropen (Achsenametropien).

Die Strahlenbegrenzung wird von der Iris bewirkt, die durch den Schließmuskel so geöffnet und zusammengezogen werden kann, daß ihre Öffnung stets kreisrund und zur Augenachse zentrisch bleibt. Diese Änderung der Öffnung hat hauptsächlich den Zweck, die Lichtzufuhr zu regulieren. Bei großer Helligkeit zieht sich die Öffnung bis auf einen Durchmesser von etwa 2 mm zusammen, bei Dunkelheit dehnt sie sich so weit aus, daß der Durchmesser 6 mm und mehr beträgt. Später wird noch ein anderer Grund für die Änderung des Irisdurchmessers angegeben werden, der jetzt noch nicht besprochen werden kann, weil hier das Auge als ein in sich unveränderlicher optischer Apparat betrachtet wird.

Außer der Irisöffnung ist beim Auge keine Blende in dem früher eingeführten Sinne vorhanden, die das Bild der Irisöffnung, die Augenpupille, in ihrer Wirksamkeit stören könnte. Die Konstruktion des objektseitigen Abbildes macht also gar keine Schwierigkeiten; in dem hier angenommenen Falle liegt die Einstellungsebene im Unendlichen. Das Gesichtsfeld des Auges ist sehr groß; nach außen hin ist es nur durch den Wangen- und Nasenrand beschränkt. Im Augeninnern reicht die Lichtempfindlichkeit der Netzhaut sehr weit; selbst senkrecht zur Augenachse eintretende Strahlen rufen noch einen Lichtreiz hervor. Wie schon einmal hervorgehoben wurde, ist aber die Genauigkeit, mit der Reize zum Bewußtsein kommen und auf die Außenwelt bezogen werden, sehr gering, sobald man sich nur etwas von dem gelben Flecke nach den Seiten entfernt.

Jeder Hauptstrahlneigung $w$ auf der Objektseite entspricht (Fig. 11) optisch ein gewisser Abstand $od$ des Bildpunktes $d$ von dem Achsenpunkte $o$ der Netzhaut, und bei der Reizung einer solchen Stelle $d$, die ja nicht wahrgenommen wird, sondern die die Empfindung vermittelt, wird der Reiz in der Richtung des von außen in das Auge eintretenden Hauptstrahls gesucht. Das hier unbewegt und in sich ungeändert vorausgesetzte Auge kann einzig Richtungen wahrnehmen, die von der Mitte $P$ der Augenpupille ausgehen, also Winkelgrößen. Zwei Gegenstände $OD$ und $O_1D_1$, die von der Mitte der Augenpupille aus mit der Augenachse die gleichen Winkel $w$ bilden, erscheinen gleich groß; sie haben, wie man sich ausdrückt, die gleiche scheinbare Größe. Gemessen wird diese durch die trigonometrische Tangente des Gesichtswinkels $w$ oder durch den Bruch

$$\text{Scheinbare Größe} = \frac{\text{Höhe}}{\text{Entfernung zwischen Objekt und Pupille}}.$$

Läßt man bei festgehaltener Entfernung die Höhe des betrachteten Gegenstandes mehr und mehr abnehmen, oder entfernt man sich von einem bestimmt angenommenen Gegenstande mehr und mehr, so kommt man schließlich dahin, daß man an dem Gegenstande keine Höhenausdehnung mehr wahrnimmt; er erscheint dann von unbestimmter Gestalt, punktförmig. Wurde er etwa durch zwei Punkte gebildet, so lassen sich diese nicht mehr trennen, sie erscheinen wie ein einziger. Den so bestimmten Winkel $w$ bezeichnet man als angulares Maß der Sehschärfe, und man nimmt als seinen Mittelwert eine Bogenminute an. Der oben angegebene Bruch hat dann einen Wert von

$$\operatorname{tg} 1' = \frac{\text{Höhe}}{\text{Entfernung}} = \frac{1}{3438}.$$

Das bedeutet: An Gegenständen, die aus dem 3438fachen ihres größten Durchmessers betrachtet werden, kann ein Auge von nor-

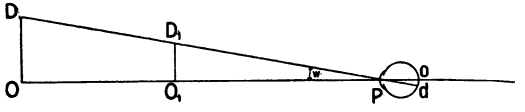



Fig. 11. Zum Sehen mit ruhendem Auge.
$w$ Hauptstrahlneigung oder Gesichtswinkel, $od$ der dem Gesichtswinkel $w$ entsprechende Bogen auf der Netzhaut.

maler Sehschärfe keine Einzelheiten der Form mehr wahrnehmen, vorausgesetzt, daß sie nicht besonders günstig beleuchtet sind. Für ein Markstück mit 24 mm Durchmesser würde diese Entfernung 82,5 m betragen. Diesem angularen Maße der Sehschärfe entspricht auf der Netzhautgrube als Ursache der mittlere Abstand $a$ zweier Empfindungselemente oder der Durchschnittsdurchmesser eines Empfindungselements (Zäpfchenendes), der sich nach den obigen Angaben über die Brennweite des Auges und über die angulare Sehschärfe zu 0,00487 mm berechnet, was durch den anatomischen Befund bestätigt wird (s. Fig. 12).

Der Leipziger Physiologe E. Hering hat aber darauf aufmerksam gemacht, daß bei der Annahme einer maschenartigen Anordnung der Zäpfchenenden, wie sie später von L. Heine nachgewiesen wurde, Verschiebungen gerader Linien gegeneinander noch wahrgenommen werden können, die weit unter die Grenze der mittleren Sehschärfe

heruntergehen. Aus der nebenstehenden Figur 13 wird es klar, daß bei einer solchen Anordnung auch dann entschieden werden kann, ob die eine Linie die Fortsetzung der anderen bildet, wenn der Abstand der beiden gereizten Zäpfchenreihen den Wert von 4,9 $\mu$ noch nicht erreicht. Die Feststellung solcher Verschiebungen ist bei einer an feineren Meßinstrumenten häufig vorkommenden Vorrichtung, dem Nonius oder Vernier, von großer Bedeutung, und verschiedene Beobachter haben solche Breitenverschiebungen noch sicher feststellen können, bei denen sich eine scheinbare Größe von nur 10 Bogensekunden ergab. Als mittlere Schärfe der Breitenwahrnehmung sei ein Betrag von einer halben Bogenminute angenommen.

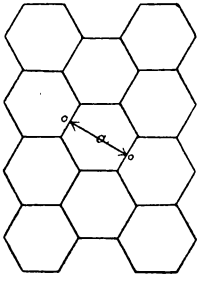


Fig. 12. Zur Sehschärfe des Menschenauges; $a$ der mittlere Abstand zweier Zäpfchenenden.

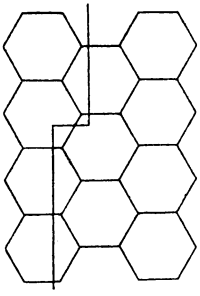


Fig. 13. Zur Schärfe der Breitenwahrnehmung.

Die soeben besprochenen Eigenschaften des Auges als eines unbewegten, in sich unveränderlichen Systems würden fast alle auch einem aus seiner Höhle entfernten Totenauge zukommen. Daß bei einem solchen die Pupillenöffnung nicht der Helligkeit entsprechend variiert werden kann, stört die Gültigkeit der vorangegangenen Überlegungen nicht, weil bei dieser Änderung der Ort der Pupille ungeändert blieb. Von den unterscheidenden Merkmalen des lebenden Auges sei zunächst behandelt:

b) Die Akkommodationsfähigkeit des Auges. Das normale Auge besitzt die Fähigkeit, die beiden Linsenflächen stärker zu krümmen und dadurch die Brennweite des optischen Systems in gewissen Grenzen zu verändern. Nach den Messungsergebnissen nehmen bei dieser Änderung die Werte für die Brennweiten ab von 17,1 und 22,8 mm auf 14,2 und 18,9 mm. Der Mensch ist dadurch in den Stand gesetzt, Gegenstände in sehr verschiedener Entfernung zwar nicht gleichzeitig, aber doch schnell hintereinander scharf zu sehen. Diese Fähigkeit nennt man das Akkommodationsvermögen (etwa Anpassungsfähigkeit). Nennt man den entferntesten Punkt, der im Ruhezustande des Auges oder bei entspannter

Akkommodation scharf gesehen werden kann, den Fernpunkt und den nächsten den Nahepunkt, so liegt bei dem normalen Auge[1]) der Fernpunkt im Unendlichen, der Nahepunkt aber vor dem Hornhautscheitel in einer endlichen Entfernung, die mit dem Alter wächst; von 10 cm bei Zwanzig- bis auf 22 cm bei Vierzigjährigen. Den Abstand zwischen Fern- und Nahepunkt nennt man das Akkommodationsgebiet.

Mit zunehmendem Alter nimmt das Akkommodationsvermögen noch weiter ab, und der Nahepunkt entfernt sich immer weiter vom Auge, ja bei früher normalsichtigen Personen über fünfzig bleibt auch der Fernpunkt nicht mehr im Unendlichen liegen, sondern erhält einen positiven Abstand vom Auge. Den soeben beschriebenen Zustand nennt man Presbyopie (Altersfichtigkeit), und er ist dadurch besonders störend, daß nahe Gegenstände mit unbewaffnetem Auge nicht mehr scharf wahrgenommen werden können.

Beim Akkommodationsvorgange krümmen sich beide Linsenflächen[2]) stärker, und dabei wird die Iris nach vorn geschoben. Außerdem tritt noch bei ungeänderter Helligkeit eine Änderung des Irisdurchmessers ein, er verengt sich bei der Akkommodation auf nähere Gegenstände und erweitert sich bei der Einstellung auf fernere.

Es hat zunächst den Anschein, als ob sich für das akkommodationsfähige Auge nur sehr schwierig die Lage und die Größe der Bilder feststellen ließe. Das verhält sich aber nicht so, weil

---

1) Beim kurzsichtigen Auge sind beide Punkte reell und liegen im Endlichen, beim übersichtigen Auge kann es vorkommen, daß überhaupt kein reeller Punkt auf der Netzhaut scharf abgebildet werden kann. Dann können nur solche Punkte, die von schwachen Sammellinsen hinter dem Kopfe entworfen werden würden, sich auf der Netzhaut scharf abbilden; in diesem Falle sind Fern- und Nahepunkt virtuell.

2) Zu gleicher Zeit nimmt auch die Dicke der Augenlinse zu, indem sich die sie bildenden Schichten (s. S. 16) anders lagern. Die Brechkraft der Augenlinse wird nicht nur darum größer, weil die Außenkrümmungen zunehmen, sondern auch weil der Totalindex einen merklich höheren Wert erhält als bei entspannter Akkommodation. Bei maximaler Akkommodation ergibt er sich zu 1,4263. Der große Betrag der Brechkraftzunahme durch Akkommodation, der es beispielsweise einem Zwanzigjährigen gestattet, Gegenstände scharf zu sehen, die sich zwischen den Grenzen von 10 cm und unendlich befinden, läßt sich bei einer so mäßigen Formänderung nur durch den geschichteten Bau erreichen, dessen Zweckmäßigkeit erst durch die Gullstrandschen Forschungen aufgedeckt worden ist.

die Hauptpunkte des optischen Systems im Auge bei der Akkommodation ihre Lage nahezu beibehalten, und weil ferner die Netzhaut immer im gleichen Abstande vom hinteren Hauptpunkte bleibt.

Läßt man nun die soeben erwähnte sehr kleine Verschiebung der Iris bei der Akkommodation außer acht und nimmt ferner der Einfachheit wegen an, daß die Augenpupille bei jedem Akkommodationszustande mit dem vorderen Hauptpunkte zusammenfalle, so läßt sich zeigen, daß auch bei der Annahme eines akkommodationsfähigen Auges die Bildgröße auf der Netzhaut proportional ist dem objektseitigen Neigungswinkel $w$ des Hauptstrahls. An der Perspektive des objektseitigen Abbildes wird also unter diesen Voraussetzungen durch den Vorgang der Akkommodation nichts geändert, weil sich die Richtung der die Perspektive hervorbringenden Hauptstrahlen nicht merkbar ändert.

Es könnte nun weiterhin scheinen, als ob das akkommodationsfähige Einzelauge außer dieser Richtung des Hauptstrahls noch die Entfernung der gerade gewählten Einstellungsebene und zwar diese aus der Akkommodationsanstrengung beurteilen könne. Das gilt aber nur für sehr nahe Gegenstände. Offenbar ist das angulare Maß der Sehschärfe auch für die Genauigkeit der Akkommodation entscheidend: solange die bei unrichtiger Akkommodation auftretenden Zerstreuungskreise kleiner sind als der 3438. Teil der Entfernung zwischen Augenpupille und Einstellebene, so lange können sie überhaupt nicht wahrgenommen werden, und es wird kein Grund zu einer Akkommodationsänderung vorliegen.

c) Das Auge im direkten Sehen. Eine weit tiefer einschneidende Abweichung von der im Anfange festgehaltenen Annahme ruhender Instrumente bietet sich aber dar, wenn die beim normalen Gebrauche des Auges stets auftretende Beweglichkeit des Auges in seiner Höhle berücksichtigt werden soll.

Wenn die Aufmerksamkeit des Beobachters auf einen bestimmten Punkt gerichtet wird, so bewegt er seinen Augapfel so, daß das Bild dieses Punktes auf die Netzhautgrube fällt. Von dieser Gewohnheit kann man sich beim gewöhnlichen Gebrauche des Auges überhaupt nicht freimachen, und es bedarf dazu schon einer gewissen Übung in der Anstellung physiologischer Versuche. Diese Gewohnheit erklärt es auch, warum dem unbefangenen Beobachter die schlechte Bildbeschaffenheit der Außenteile der Netzhaut, das Vorhandensein eines blinden Fleckes u. a. m. entgeht, er benutzt ie Lichtempfindlichkeit der Randteile der Netzhaut hauptsächlich

nur dazu, einen gewissen Anhalt für seine Augenbewegungen zu haben und danach seine Auge schnell auf den Punkt zu richten, der seine Aufmerksamkeit fesselt. Die Bewegung des Augapfels geschieht durch sechs verschiedene Augenmuskeln, die so wirken, daß der Augapfel in seiner Höhle wie in einem Kugelgelenke gedreht wird. Der Mittelpunkt dieser Bewegung, der Augendrehpunkt, liegt etwa 13 mm hinter dem Hornhautscheitel, oder etwa 10,5 mm hinter der Augenpupille. Handelt es sich, wie im folgenden immer, um ein Gesichtsfeld von größerer Winkelausdehnung, so bezeichnet man diesen Sehvorgang, bei dem das Auge nach den verschiedenen aufmerksam betrachteten (fixierten) Punkten gerichtet wird, als direktes Sehen oder Blicken, und stellt es dem früher besprochenen Sehen mit ruhendem Auge gegenüber, was nach S. 18 für dieses größere Gesichtsfeld allein ein indirektes Sehen sein kann. Denn das ruhende

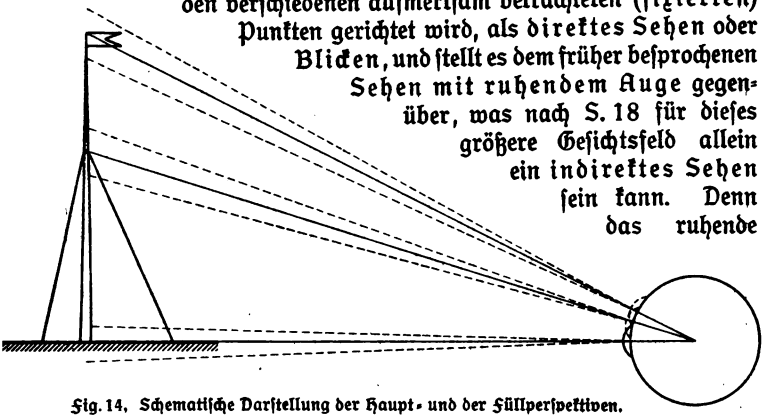


Fig. 14. Schematische Darstellung der Haupt- und der Füllperspektiven.
Der Augapfel (in ganz unrichtigen Größenverhältnissen) ist in drei Lagen dargestellt worden, wenn nacheinander Fuß, Mitte und Spitze des Flaggenstocks fixiert wurden. Die scheinbare Größe dieser drei Abschnitte wird offenbar nach den Augendrehungen um den Mittelpunkt beim direkten Sehen beurteilt. Für die Zwischenteile, die der Voraussetzung nach dem Beschauer weniger wichtig erscheinen, treten die roh angedeuteten Füllperspektiven ein, die von der jeweiligen Lage der Pupillenmitte aus entworfen sind. Wie weit sie sich erstrecken, ist schwer zu entscheiden; es wurde auf der Zeichnung unbestimmt gelassen.

Auge kann nur einen einzigen Punkt, etwa die Mitte des Feldes, fixieren, und muß das ausgedehnte Gesichtsfeld notgedrungen im indirekten Sehen betrachten. Es wird also im folgenden (unter stillschweigender Voraussetzung eines Feldes von beträchtlicher Winkelausdehnung) indirektes Sehen äquivalent gelten mit dem Sehen mit ruhendem Auge und direktes Sehen oder Blicken mit dem Sehen mit bewegtem Auge. Die Verbindungslinie eines bestimmten Punktes mit dem Augendrehpunkte heißt die Blicklinie, und es soll hier angenommen werden, daß sie mit der

Augenachse zusammenfällt, wenn dieser Punkt fixiert wird. Auf Grund dieser Annahme, die mit einer für den Zweck dieser Darstellung genügenden Annäherung gültig ist, ist allen bei ruhiger Kopfhaltung möglichen Blicklinien ein Punkt gemeinsam, der Drehpunkt des Auges. Dieser Punkt dient somit für das direkte Sehen als perspektivisches Zentrum. Während also, soweit deutliche Gesichtswahrnehmungen in Frage kommen, für den kleinen Gesichtswinkel, der dem gelben Flecke entspricht, die Perspektive des indirekten Sehens gilt, wie sie durch die Augenpupille bestimmt wird, ist für das im allgemeinen zweifellos wichtigere direkte Sehen das perspektivische Zentrum der etwa 10,5 mm hinter der Augenpupille gelegene Augendrehpunkt.

Man kommt also zu der Einsicht, daß für unsere Gesichtswahrnehmung eines körperlichen Objekts von beträchtlicher scheinbarer Größe in jedem Augenblicke zwei perspektivische Zentren maßgebend sind, ein wichtiges, ruhendes für die unsere Aufmerksamkeit erregenden fixierten Punkte — der Augendrehpunkt — und ein unwichtigeres, wanderndes — die bewegte Augenpupille —, demzufolge die nicht genauer beachteten Teile in der Umgebung der fixierten Punkte sich auf der Netzhaut darstellen. Diese „Füllperspektiven" überdecken sich an ihren Rändern gegenseitig, ohne indessen für die Gesichtswahrnehmungen größeren Schaden anzurichten, weil eben alle wichtigeren Punkte durch die Blicklinien bestimmt sind. Daß diese ziemlich verwickelten Verhältnisse bei der Betrachtung räumlicher Objekte nicht mehr auffallen, liegt an verschiedenen Ursachen: hauptsächlich fehlt wohl die Übung im indirekten Sehen, doch kommt auch hierzu, daß für etwas weiter entfernte Gegenstände der Abstand von einem Zentimeter, um den Pupille und Drehpunkt des Auges voneinander getrennt sind, nicht genügt, um die Folgen auffällig werden zu lassen. Aus diesem Grunde wird man sich auch wohl hüten müssen, der Verschiedenheit der beiden Perspektiven, der Hauptperspektive und der Füllperspektiven, ein größeres Gewicht für die Tiefenwahrnehmung des Einzelauges beizulegen.

Der Umstand, daß das Auge gewöhnt ist, schnelle Bewegungen um das Drehungszentrum auszuführen, hat zur Folge, daß man beim direkten Sehen nicht von einer bevorzugten (Achsen-) Richtung sprechen kann. Die Konstruktion des objektseitigen Abbildes ist also für das bewegte Auge willkürlich, weil die Richtung der Einstellebene nicht bestimmt ist. Man kann sich dabei aber da-

durch helfen, daß man die Richtung nach einem mittleren (meist in der Höhe des Auges gelegenen) Fixationspunkte bevorzugt und auf ihr in diesem Punkte die (meist vertikale) Einstellungsebene errichtet.

Es sei an dieser Stelle noch ein kurzer Hinweis auf die Verhältnisse des Sehens durch enge Öffnungen eingeschaltet, weil sie später bei der Besprechung gewisser optischer Instrumente von Wichtigkeit werden. Will man beispielsweise ein Zimmer durch ein enges Schlüsselloch übersehen, so ist es in der Regel untunlich, den Drehpunkt des Auges nahe genug an das Schlüsselloch zu bringen und dies dann das Gesichtsfeld begrenzen zu lassen. Wie man aus Fig. 15a ersieht, käme der dem Auge entferntere Rand dafür in Frage, und das Gesichtsfeld würde namentlich in horizontaler Richtung nur wenige Grade betragen. In diesem Falle hilft man sich unwillkürlich dadurch, daß man Kopf- und Augenbewegungen zusammen vornimmt. Die Drehungen, die man auf diese Weise ausführt, ergeben dann die Neigung $w$ der Hauptstrahlen, die hier durch die Mitte des Schlüsselloches hindurchgehen. Dieser Fall ist darum wichtig, weil hier innerhalb eines größeren Winkels die Perspektive von der Haltung des Auges ganz unabhängig ist. Ab und zu ist eine solche Einrichtung auch für Gemälde getroffen worden, um die richtigen Gesichtswinkel bei der Betrachtung zu erzwingen, die hauptsächlichste Verwirklichung dieses Falles findet sich, wie später gezeigt werden wird, bei bestimmten optischen Instrumenten.

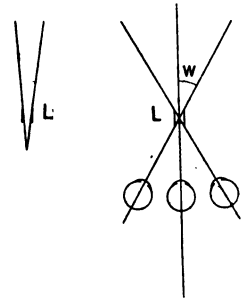



Fig. 15a. Fig. 15b.

Zum Sehen durch enge Öffnungen.
a Bei ruhiger Kopfhaltung wird der Horizontalwinkel durch den Augendrehpunkt und den entfernten Rand des Loches $L$ bestimmt.
b Bei bewegtem Kopfe und bewegtem Auge durch die Öffnung $L$ allein.

d) Das Auge und die Abbildskopie. Schon in einer sehr frühen Zeit tritt in der Geschichte das Problem auf, das Gesehene mit Stift oder Pinsel naturgetreu wiederzugeben. Ganz allmählich entwickelte sich als Lösung dieser Aufgabe die Lehre von der Zentralprojektion oder der Perspektive. Die durch sie gelöste Aufgabe lautet in der hier angewandten Sprechweise: Es ist von dem in der Einstellebene entstehenden objektseitigen Abbilde beim direkten

Sehen auf der ebenen Zeichen- oder Malfläche eine ähnliche, (meist verkleinerte) Kopie zu schaffen. Infolge dieser Ähnlichkeit kann sie an einer bestimmten (aus dem Maßstabe abzuleitenden) Stelle zwischen die Objekte und den Augendrehpunkt eingeschaltet werden und ersetzt dann, wenn der erforderliche Abstand nicht kleiner ist als der des Nahepunktes, für das betrachtende Einzelauge die Gegenstände im direkten Sehen völlig, soweit ihre scheinbare Größe in Betracht kommt. Die „Füllperspektiven" weichen allerdings von den natürlichen ab, doch ist oben auf ihre geringere Bedeutung hingewiesen worden. Daß diese einseitige Berücksichtigung des direkten Sehens ihren Zweck erfüllt, darauf braucht nur hingewiesen zu werden; gute Gemälde werden Beispiele genug liefern.

Nach der ganzen Entstehung des Abbildes und seiner Kopie ist es unbedingt notwendig, den richtigen Abstand des Augendrehpunktes von der Kopie einzuhalten, wenn sich ein naturgetreuer Eindruck ergeben soll. Gröbere seitliche Abweichungen von dieser Stelle werden meistens vermieden, weil man die Begrenzung dieser Darstellungen in der Regel so wählt, daß das Auge ungefähr vor ihre Mitte gebracht werden muß, häufig aber kommt eine unrichtige Wahl des Abstandes vom Bilde vor. Diese namentlich sind schon früh, so von J. H. Lambert in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts studiert worden.

Es sei die perspektivische Konstruktion für eine Würfelfläche wiederholt, wobei das perspektivische Zentrum $P$ in der Verlängerung von $AB$ angenommen sei. Die Einstellebene gehe durch $AD$, so daß $E$ den Punkt $C$ repräsentiert. Wird nun eine verkleinerte (beispielsweise im halben Maßstabe angefertigte) Abbildskopie $dea$ so betrachtet, daß der Augendrehpunkt $p$ einen zu $da$ vertikalen Abstand $ap = {}^1/_2 AP$ hat, so sind die Winkel $dpa$ und $epa$ den entsprechenden bei dem perspektivischen Vorgange gleich. Wenn man nun weiß, daß $dea$ die perspektivische Darstellung eines rechteckigen Gebildes sein soll, so führt die Konstruktion der Parallelen $dc$ und $ab$ sowie die Verlängerung von $pe$ bis $c$ nach Fällung der Höhe $cb$ zu einem Quadrat, weil die ganze Figur der ersten genau ähnlich ist. Zu demselben Ergebnis würde es führen, wenn man wüßte, daß die Tiefe $ab$ der von zwei Vertikalen begrenzten Figur ihrer Höhe $da$ gleich wäre. Alsdann würde man ebenfalls aus Ähnlichkeitsgründen haben schließen können, daß der senkrecht über $b$ gefundene Punkt $c$ auf einer durch $d$ gehenden Parallelen zur Basis läge.

Es sei aber nun angenommen, der Augendrehpunkt $p_1$ gelange in einen zu weiten Abstand von der Abbildskopie $a\,e\,d$, so daß die mit diesen Punkten bestimmten Gesichtswinkel $d\,p_1\,a$ und $e\,p_1\,a$ zu klein ausfallen. Dann sind wieder ebendieselben beiden Möglichkeiten vorhanden, auf Grund der Erfahrung zu einer Raumanschauung zu kommen. Kennt man die überall gleiche Höhe der Figur $A\,B\,C\,D$ (etwa als die einer Wand oder Grenzmauer), dann konstruiert man mittels der Parallelen durch $d$ und der Verlängerung von $p_1\,e$ die Figur $a\,b_1\,c\,d$, das ist ein Rechteck mit einer Tiefenerstreckung $a\,b_1$, die in demselben Verhältnis zu groß ist, in dem der tatsächliche Abstand $a\,p_1$ zu dem richtigen $a\,p$ steht. Die andere Möglichkeit ist die, daß man aus der Erfahrung über die richtige Tiefenerstreckung $a\,d = a\,b_2$ besser unterrichtet ist, alsdann konstruiert man ein Gebilde $a\,b_2\,c_2\,d$, worin die ferneren Gegenstände $c_2\,b_2$ zu klein erscheinen. Gerade die entgegengesetzten Wirkungen stellen sich bei einer Vergrößerung der Neigungswinkel (Verkleinerung des Betrachtungsabstandes) ein.

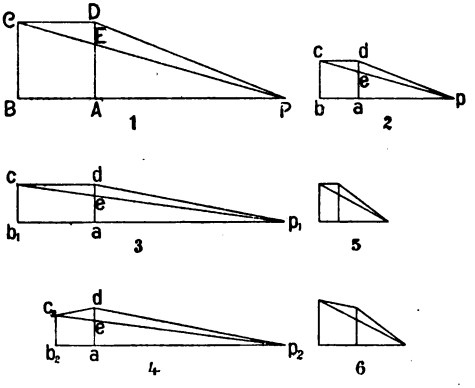



Fig. 16. Zum Einfluß der Gesichtswinkel auf die Deutung perspektivischer Zeichnungen.

1. Der Projektionsvorgang bei der Entstehung des objektseitigen Abbildes, 2. Die Betrachtung der Abbildskopie aus dem richtigen Abstande. 3. [5.] Die Vertiefung [Abflachung] des als rechtwinklig erkannten Gebildes infolge eines zu weiten [zu nahen] Augenortes. 4. [6.] Die Verkleinerung [Vergrößerung] des Hintergrundes infolge eines zu großen [zu kleinen] Augenabstandes bei Kenntnis der Tiefenerstreckung.

Für die ganze Überlegung macht es offenbar keinen Unterschied, ob das betrachtete Bild physische Existenz hat, also auf einer Zeichen- oder Malfläche wirklich vorliegt, oder in der Luft schwebt, wie es eben bei dem virtuellen Bilde der Fall ist, das die zu subjektivem Gebrauche bestimmten Instrumente liefern. Die Herleitung des obigen Ergebnisses beruht ja allein auf der Veränderung der Gesichtswinkel, unter denen die Abbildskopie dem Auge dargeboten wird.

Faßt man alles zusammen, so kommt man hinsichtlich des Einflusses der Veränderung der Gesichtswinkel (oder unrichtiger Betrachtungsabstände bei physischen Abbildskopien) zu folgendem Resultat: Werden bei der Betrachtung einer geometrisch ähnlichen Abbildskopie eines räumlich ausgedehnten Objekts die Gesichtswinkel verkleinert (wählt man den Abstand zu groß), so liegen alle Bedingungen vor, die Perspektive falsch zu deuten, und zwar kann nach der Erfahrung des Beschauers als Grenzfall sowohl eine entsprechende Vertiefung des ganzen Bildreliefs als eine Erniedrigung des Hintergrundes eintreten. Bei einer Vergrößerung der Gesichtswinkel (Verkleinerung des Abstandes) können die entgegengesetzten Grenzfälle eintreten.

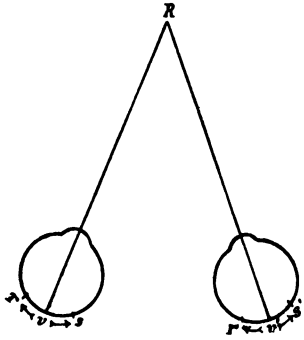



Fig. 17.
Zum Gebrauche beider Augen.
$\sphericalangle vRv'$ Konvergenzwinkel für den Objektpunkt $R$. $v, v'$ Netzhautgrube im linken und rechten Auge. $r, r'$; $s, s'$ korrespondierende Stellen, da $vr = v'r'$; $vs = v's'$.

e) Das Sehen mit beiden Augen. Handelt es sich, wie meistens, um den gleichzeitigen Gebrauch beider Augen, so wird ein bestimmter Gegenstand oder ein Teil eines solchen fixiert, d. h. beide Augen werden je mit den sie bewegenden sechs Muskeln in eine solche Lage gebracht, daß sich die fixierte Stelle auf beiden Netzhautgruben abbildet. Den Richtungsunterschied beider Blicklinien nennt man den Konvergenzwinkel[1]) der Augen. Obwohl beide Augen gereizt werden, so wird dieser fixierte Punkt doch nur einfach gesehen. Andere Punkte erscheinen bei ruhiger Augenhaltung nur dann einfach, wenn ihre Bilder auf Netzhautstellen fallen, die zu der zugehörigen Netzhautgrube gleichgelegen sind; man nennt solche Stellen korrespondierende (entsprechende). Die alle einfach erscheinenden Objektpunkte enthaltende Fläche nennt man den Horopter. Die nicht in den Horopter fallenden Objektpunkte erzeugen, da ihre Bilder auf disparate (nicht entsprechende) Netzhautstellen fallen, Doppelbilder, die allerdings den in solchen Versuchen nicht geübten Augen meistens entgehen. Der Charakter dieser Doppelbilder ist verschieden, je nachdem der sie hervorrufende Objektpunkt näher oder ferner liegt als der

1) S. auch bei C. Kreibig, S. 87—89.

fixierte Punkt. Dadurch ist ein Mittel gegeben, die Tiefendimension auch bei vollkommen ruhenden Augen wahrzunehmen. Ein solcher Fall tritt ein bei momentaner Beleuchtung der Objekte, etwa einer Landschaft durch einen Blitz in der Nacht.

Mit Ausnahme ganz selten eintretender Fälle unterrichtet man sich aber über die Tiefenausdehnung der Objekte nicht im Sehen mit ruhendem Auge, sondern man fixiert die verschiedenen Punkte des Objektraums schnell nacheinander, zu welchem Zwecke man fortwährend die Konvergenz der Augenachsen ändert. Die Regulierung der Tätigkeit der Augenmuskeln ist dabei von äußerster Feinheit, denn die Forderung, mit beiden Augen schnell einen bestimmten Punkt zu fixieren, läuft, geometrisch gesprochen, darauf hinaus, die Augen schnell so zu bewegen, daß die beiden Blicklinien nach dem Objektpunkte in einer Ebene bleiben (der nämlich, die die Augendrehpunkte und den gerade fixierten Objektpunkt enthält). Mit der Änderung der Konvergenz ist bei normalen Augen eine Änderung der Akkommodation verbunden und zwar so, daß bei stärkerer Konvergenz die Krümmung der beiden Linsenflächen tiefer wird. Durch Übung läßt sich allerdings dieser gewohnheitsmäßige Zusammenhang aufheben.

Zu absoluten Entfernungsmessungen lassen sich die Augen schlecht verwenden, weil das Gefühl für die Bewegungen der Augenmuskeln doch nicht fein genug ist, um bei der kleinen Basis (die Entfernung der Augendrehpunkte schwankt bei verschiedenen Menschen etwa zwischen 50 und 72 mm) die für einigermaßen entfernte Objekte sehr kleinen Konvergenzwinkel zu bestimmen. Handelt es sich aber um zwei Objekte, von denen das eine fixiert, das andere in nahezu derselben Richtung gesehen wird, so läßt sich ein etwa bestehender Entfernungsunterschied mit Hilfe der Feinheit der Breitenwahrnehmung verhältnismäßig recht sicher wahrnehmen. Unter Berücksichtigung der angegebenen Zahlen für die Entfernung der Augendrehpunkte und bei Annahme einer mittleren Schärfe der Breitenwahrnehmung von einer halben Bogenminute liegt der Abstand $a$ vom Beobachter bis zu den sich eben noch von dem unendlich entfernten Hintergrunde abhebenden Objekten etwa zwischen 350 und 500 m. Man bezeichnet diese Strecke $a$ auch als die Grenze der Tiefenwahrnehmung im freien Sehen.

Wird dieselbe Ausdrucksweise benutzt wie beim Sehen mit einem Auge, so bietet das beidäugige Sehen die Eigentümlichkeit dar, daß von einem körperlich ausgedehnten, mit wanderndem Blicke betrach-

teten Gegenstande jedem Auge eine verschiedene Perspektive dargeboten wird, deren perspektivisches Zentrum der zugehörige Augendrehpunkt ist. Die Vereinigung dieser beiden, in bestimmter Weise verschiedenen Abbilder geschieht bei der Beziehung der Reize auf die Außenwelt, also *nicht* auf optischem Wege. Vielmehr ist es eine notwendige, beim natürlichen Sehen von selbst erfüllte Bedingung, daß zwei verschiedene Bilder vorhanden sind, die *gesondert* auf je ein Auge wirken. Der erste, der bewußterweise zwei verschiedene perspektivische Zeichnungen (*Halbbilder*) zu einem körperlichen Eindrucke verschmolz, war der englische Physiker Ch. *Wheatstone* (vor 1834); der dazu bestimmte Apparat, das *Stereoskop* (der Körpergucker), ward von ihm in sehr vollkommener Durcharbeitung 1838 veröffentlicht. Seine am meisten bekannte Ausführungsform hatte zwei ebene Spiegel, je einen zwischen jedem Halbbilde und dem zugehörigen Auge. In neuester Zeit, 1905, ist eine sehr glückliche Modifikation des *Wheatstone*schen Stereoskops von dem Dijoner Chemiker L. *Pigeon* angegeben worden; man kommt dabei mit der Reflexion nur eines Halbbildes aus, während das andere Bild direkt betrachtet wird.

Spätere Formen des Stereoskops zeigen Linsen als wesentliche Bestandteile, hier ist namentlich das mit exzentrisch gestellten Linsen (Linsenprismen) versehene Stereoskop des Edinburgher Physikers D. *Brewster* vom Jahre 1849 zu erwähnen, das noch heute zwar nicht die beste wohl aber die verbreitetste Form dieses Instruments darstellt. Generationen von Optikern, namentlich französischer und englischer Zunge, haben daran gearbeitet, ein handliches, allerdings im optischen Sinne unvollkommenes Instrument[1]) daraus herzustellen.

## III. Die optischen Instrumente im einzelnen.

Die von den optischen Instrumenten entworfenen Bilder sind schließlich ausnahmslos dazu bestimmt, dem Auge dargeboten zu werden. Dabei können zwei verschiedene Möglichkeiten eintreten. Einmal hat das Bild physische Existenz und strahlt nach allen Seiten, so daß es einer Anzahl von Personen gleichzeitig sichtbar sein kann. Man nennt eine solche Darbietung des Bildes eine

1) Genauere Auskunft über diese und ähnliche Fragen erhält man aus M. von Rohr: Die binokularen Instrumente. Berlin, J. Springer, 1907, VIII, 223 S. 8° mit 90 Textfiguren.

objektive und Instrumente zur Erzeugung derartiger Bilder Instrumente zu objektivem Gebrauche. Soweit es sich bei der Erzeugung eines solchen Bildes um gewöhnliches Licht handelt, haben die hierfür verwandten Instrumente namentlich für Lehrzwecke eine große Bedeutung. Soweit Licht kurzer Wellenlänge in Frage kommt, bieten die photographischen Verfahren die wichtige Möglichkeit einer getreuen Wiedergabe der verschiedensten Objekte, und dienen damit künstlerischen und wissenschaftlichen Zwecken. Schon früh lieferte die Schnelligkeit, mit der solche Aufnahmen erfolgen können, Ergebnisse, die auf andere Weise nicht zu erhalten waren. In neuer Zeit hat man auch begonnen, durch gewisse Instrumente zu objektivem Gebrauche der Forschung völlig neue Gebiete zu erschließen. Alle Instrumente zu objektivem Gebrauche sind erst in neuerer Zeit, etwa seit der Mitte des neunzehnten Jahrhunderts, zu größerer Vollkommenheit entwickelt worden.

Die andere Klasse von Instrumenten dient hauptsächlich dem subjektiven Gebrauche; sie entwerfen virtuelle Bilder, deren Punkte nur in der durch die Austrittspupille des Instruments bestimmten Richtung strahlen und daher in der Regel nur einem Beobachter sichtbar gemacht werden können. Es sind im eigentlichen Sinne Instrumente zur Unterstützung des Auges, die den mannigfachsten Anwendungen im täglichen Leben dienen, und daher auf eine ganz wesentlich ältere Geschichte zurücksehen können; ihre hauptsächlichsten Vertreter sind schon im Anfange des siebzehnten Jahrhunderts bekannt. Unter den Instrumenten zu subjektivem Gebrauche finden sich auch die zur eigentlich wissenschaftlichen Forschung bestimmten, mag sich diese nun auf die weit entfernten Himmelskörper oder auf die kleinsten Einzelheiten der uns umgebenden Objekte beziehen.

## A. Die Instrumente zu objektivem Gebrauche.

Handelt es sich also um Bilder, die auf einem Schirme entworfen (auf einen solchen projiziert) werden, und die in den verschiedensten Richtungen von der Schirmfläche aus sichtbar sind, so kommen zwei Möglichkeiten in Betracht, je nachdem diese Bilder auf der Schirmebene für immer oder nur so lange erzeugt werden sollen, wie das Instrument benutzt wird. Wenn auch die zweite Klasse, die eigentlichen Projektionssysteme, früher auftraten, so ist doch ihre Entwicklung in allen wesentlichen Punkten derartig durch die der ersten Klasse, der photographischen Objektive, bedingt, daß es sich hier durchaus empfiehlt, diese zuerst zu behandeln.

## 1. Die photographischen Objektive.

Im Jahre 1839 wurden von J. L. M. Daguerre in Frankreich und von H. F. Talbot in England die ersten Lichtbildverfahren veröffentlicht; es war diesen Forschern unabhängig voneinander gelungen, die Veränderungen, die in Silberverbindungen durch die chemische Einwirkung des Lichts hervorgerufen werden, sichtbar zu machen und so zu erhalten. Die Talbotsche Methode gab die Grundlagen für die heute so häufig geübten Verfahren ab, bei denen in dem Apparat ein Negativbild erzeugt wird, von dem durch ein einfaches Druckverfahren eine Reihe von Positivbildern hergestellt werden kann. Beide Methoden, die Daguerreotypie und das photogenische Verfahren H. Talbots, haben das gemein, daß von den Objekten der Außenwelt auf einer achsensenkrechten, ebenen, lichtempfindlichen Schicht mittels endlich geöffneter Büschel ein Bild entworfen wird. Nach den Herleitungen auf S. 8/9 ist es bekannt, daß dies Bild nur eine Kopie des objektseitigen Abbildes sein kann, diese muß nach S. 26 im direkten Sehen aus einer ganz bestimmten Entfernung betrachtet werden, wenn sich die richtigen Bildwinkel ergeben sollen, so daß einer richtigen Auffassung der Tiefenverhältnisse nichts im Wege steht.

In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle ist das bildentwerfende System eine lichtbrechende Linsenkombination. Die früher wohl auch verwandten Spiegelsysteme sind, abgesehen von Spiegeln für Sternaufnahmen (s. S. 130), außer Gebrauch gekommen. Als Name für das neue Instrument hat man wenig bezeichnenderweise von den älteren, zu subjektivem Gebrauche bestimmten Instrumenten den Ausdruck „Objektiv" entlehnt; das bedeutet wörtlich nur „die den Objekten zugewandte Linse" und ergibt hier keinen Sinn, weil ein weiterer, etwa den Bildern zugekehrter Teil gar nicht vorhanden ist. Der Kasten, der zur Abhaltung alles falschen (nicht oder nicht direkt aus der Austrittspupille des Instruments stammenden) Lichts dient, heißt Kamera. An ihrer Rückseite läßt sich eine mattgeschliffene Scheibe anbringen, damit man sich davon überzeugen kann, ob das Objektiv auf das gewünschte Objekt gerichtet ist, und ob sich dieses scharf auf der Mattscheibe abbildet. Für die Aufnahme ersetzt man diese Mattscheibe durch eine die lichtempfindliche Schicht enthaltende Kassette (Fig. 18). In früherer Zeit war die lichtempfindliche Schicht ausschließlich auf Glasplatten angebracht (Trockenplatten: Kassette schlechthin), jetzt findet man sie auch

auf elastischen Streifen (Häuten oder Films: Filmkassette). Die Scharfstellung erfolgt entweder durch Verschiebung der ganzen Vorder- oder Hinterwand (Auszug- oder Balgenkameras) oder durch Verschiebung des Objektivs (alte Vorrichtung von Zahn und Trieb an Porträtobjektiven; neuere Schneckenführungen an Handkameras mit unbeweglicher Rückwand). Ist keine solche Vorrichtung vorhanden, so spricht man von einer (meist billigen) Kamera mit fester Einstellung. Die Größe und Gestalt der licht-

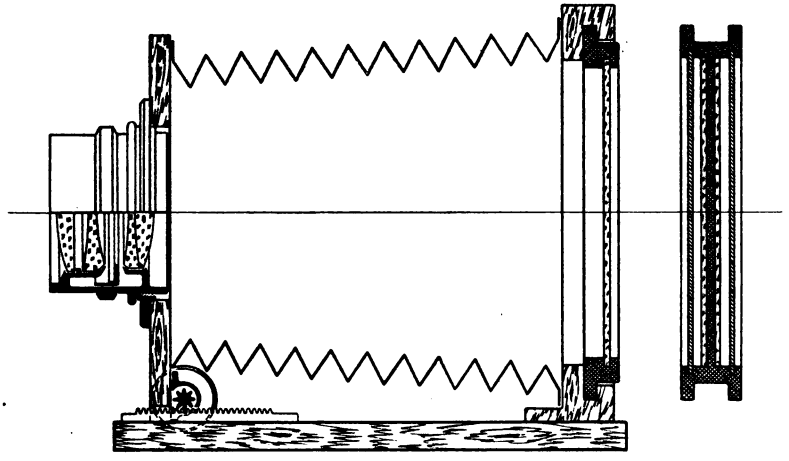


Fig. 18. Schematischer Längsschnitt durch eine Balgenkamera und eine Doppelkassette. Die Mattscheibe und die Trockenplatten sind punktiert. Die Kassettenschieber sind durch gekennzeichnet. Die Einstellung wird durch einen auf die Vorderwand wirkenden Zahn und Trieb bewirkt. Das Objektiv ist ein Tessar (↓ S. 55).

empfindlichen Platte bezeichnet man als das Bildformat. Die gebräuchlichsten Plattenformate sind in Zentimetern

| auf dem Kontinent | in England und Amerika |
|---|---|
| 6 : 9 (6,5 : 9) | 6 : 8,2 |
| 9 : 12 (9 : 13) | 8,2 : 10,8 (Viertelplatte) |
| 13 : 18 | 10,8 : 16,5 (halbe Platte) |

a) Der Abbildungsmaßstab. Bei photographischen Systemen handelt es sich immer um den einfacheren Fall gleicher Brennweiten, da sich das System stets in dem gleichen Mittel, in Luft nämlich, befindet.

Bezeichnet man die Abstände von den zugehörigen Brennpunkten (Fig. 19)

$$FO = x \text{ und } F'O' = x',\ FH = f = H'F'$$

sowie die Größen von Objekt und Bild mit $y$ und $y'$, so ist für endliche Objekt- und Bildabstände auf Grund der Ähnlichkeit der beiden Dreieckspaare $FO\bar{O}$ und $FH\underline{H}$, sowie $F'O'\bar{O}'$ und $F'H'\bar{H}'$:

1) $$y : y' = x : f$$
2) $$y : y' = f : x'$$
3) $$x : f = f : x'.$$

Es sind dies die Abbildungsgleichungen, bezogen auf die Brennpunkte des Systems. Führt man den Reduktionsmaßstab $M$ ein durch

$$y : y' = M : 1,$$

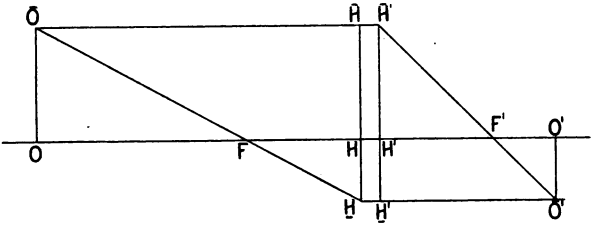



Fig. 19. Zur Lage und Größe der Bilder bei photographischen Objektiven. Objekt- und Bildbrennweite sind gleich $FH = H'F'$, weil sich vor und hinter dem System dasselbe Mittel, Luft, befindet. $y = O\bar{O}$; $y' = O'\bar{O}'$.

so ergibt sich aus 1) und 2)

4) $$x = Mf;\ x' = \frac{f}{M}.$$

Ein weiteres Gleichungssystem bezieht sich auf die Hauptpunkte. Nennt man die Abstände von diesen Punkten

$$HO = \mathfrak{A} \text{ und } H'O' = \mathfrak{A}',$$

so wird unter Benutzung von 4)

5) $$\mathfrak{A} = HO = HF + FO = (M+1)f;$$
$$\mathfrak{A}' = H'O' = H'F' + F'O' = \frac{M+1}{M} f,$$

und man sieht ohne weiteres ein, daß

6) $$\mathfrak{A} : \mathfrak{A}' = M : 1 \text{ und } \frac{1}{\mathfrak{A}} + \frac{1}{\mathfrak{A}'} = \frac{1}{f}$$

ist.

Handelt es sich um ein unendlich entferntes, unter dem Winkel $w$ erscheinendes Objekt, so folgt unmittelbar aus der S. 4 gegebenen Figur 5, wenn man hier $y' = F'\underline{F}'$ setzt:

7) $$y' = f \operatorname{tg} w.$$

Bei einem photographischen Objektiv wird man meistens die Lage der Hauptpunkte wenigstens angenähert kennen (man nimmt häufig als einfache Annäherung an, daß sie mitten zwischen den Außenscheiteln, d. h. den Mitten der beiden äußeren Linsenflächen, an einem Punkte zusammenfallen), und man wird sich daher oft der an zweiter Stelle angegebenen Formeln 5) und 6) bedienen.

Ist also beispielsweise die Aufgabe gestellt, mit einem Objektiv gegebener Brennweite $f = 36$ cm ein Gemälde auf ein Drittel verkleinert wiederzugeben, so kann man nach 5) ermitteln den Abstand des Gemäldes vom vorderen Hauptpunkt

$$A = (3 + 1)\,36 \text{ cm} = 144 \text{ cm}$$

und den Abstand des Bildes vom hinteren Hauptpunkt

$$A' = \frac{3+1}{3}\,36 \text{ cm} = 48 \text{ cm}.$$

Diese Größen würden bei einer Verkleinerung auf ein Viertel die Werte annehmen

$$A = (4 + 1)\,36 \text{ cm} = 180 \text{ cm}$$

$$A' = \frac{4+1}{4}\,36 \text{ cm} = 45 \text{ cm}.$$

Dieses Beispiel veranschaulicht die Wichtigkeit der durch die eben erwähnten Einstellmethoden herbeigeführten Möglichkeit, den Abstand $A'$ zwischen der Platte und dem hinteren Hauptpunkt zu verändern.

Ganz ohne weiteres ist mit diesen Angaben die Aufgabe erledigt, wenn es sich um die Aufnahme ebener Darstellungen in gegebenem Maßstabe handelt, also um Aufgaben, wie sie beispielsweise bei der Wiedergabe von Gemälden, Zeichnungen, seltenen Drucken u. a., desgleichen bei astronomischen Aufnahmen, aber auch bei Vergrößerungen vorkommen. Im letztgenannten Falle ist $M$ ein echter Bruch $\frac{1}{N}$. Setzt man ihn in die Formeln 5) ein, so sieht man sofort, daß die Formel für $A$ nunmehr der für $A'$ ähnlich wird und umgekehrt; das muß auch so sein, denn bei einer Vergrößerung ist das Objekt eben an die Stelle getreten, die gewöhnlich das Bild einnimmt.

b) Die Tiefe und die Perspektive. Hat aber das Objekt eine endliche Tiefenausdehnung, so ergibt sich auf der lichtempfindlichen Schicht eine perspektivische Darstellung, nämlich die im Maßstabe veränderte Kopie des objektseitigen Abbildes.

Handelt es sich dabei um photographische Systeme endlicher Öffnung, so ist natürlich von einer scharfen Abbildung nur insoweit die Rede, als die Objektpunkte in der Einstellungsebene liegen. Vor oder hinter ihr befindliche Objektpunkte werden durch ihre Zerstreuungskreise $o_1$, $o_2$ vertreten. Deren Durchmesser hängt allein ab von der Größe und der Entfernung der Eintrittspupille, und er nimmt, wenn das Objektiv an seinem Orte bleibt, ab, wenn man, etwa durch Abblendung, die Größe der Eintrittspupille vermindert. Geht er unter die Grenze herab, die das Menschenauge infolge seiner begrenzten Sehschärfe in der Einstellungsebene von dem Orte $P$ aus noch erkennen kann, so kann man das objektseitige Abbild und ebenso die richtig betrachtete Abbildskopie scharf nennen. Ein absolutes Maß für die Größe der bildseitigen Zerstreuungskreise anzugeben (etwa 0,1 mm), hat keinen Sinn, wenn man die Einhaltung des richtigen Abstandes fordert.

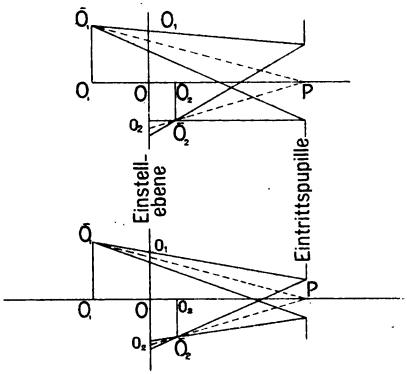



Fig. 20.
Zur Tiefe bei photographischen Objektiven.
Der obere und der untere Teil der Figur stimmen in der Lage der Einstellebene, Eintrittspupille und der Objekte genau überein. Verschieden ist nur der Durchmesser der Eintrittspupille, der oben die doppelte Größe des unteren hat. Aus diesem Grunde sind die Zerstreuungskreise $o_1$ $o_2$ in der Einstellebene $O$ oben auch doppelt so groß wie unten, und das objektseitige Abbild $o_1$ $Oo_2$ ist oben doppelt so unscharf wie unten. (Aus Versehen steht oben in der Einstellungsebene $O$ statt $o_1$ fälschlich $O_1$.)

Lokalisiert man den durch einen Zerstreuungskreis vertretenen Bildpunkt in dessen Zentrum, so handelt es sich bei jeder photographischen Aufnahme um eine Zentralprojektion, und zwar stets um eben die, die entsteht, wenn man sich auf die die Mitte der Eintrittspupille passierenden Hauptstrahlen (s. S. 8) beschränkt. Diese Darstellung muß, wie schon auf S. 26 betont wurde, mit einem Auge so betrachtet werden, daß die im direkten Sehen ent-

stehenden Gesichtswinkel $w$ denen gleich sind, die bei der Aufnahme auf der Objektseite auftraten. Dies geschieht bei vollkommener Ähnlichkeit der $M$-fach verkleinerten Abbildskopie dann, wenn das Bild dem perspektivischen Zentrum, d. h. dem mit der Mitte der Eintrittspupille zusammenfallenden Augendrehpunkte entsprechend (bis auf den $M$-ten Teil der Objektentfernung) genähert wird. Lag die Einstellungsebene im Unendlichen, so muß nach der Gleichung 7) auf S. 35 der Abstand von dem Orte der Eintrittspupille genau gleich der Brennweite $f$ sein. Bei einer großen Zahl der in der photographischen Praxis auftretenden Fälle, wie Landschafts- und Architekturaufnahmen, ist $M$ schon so groß, daß man der Einfachheit wegen die Regel so aussprechen kann, als hätte sich das Objekt bei der Aufnahme in unendlicher Ferne befunden. Meistens wird also der Augendrehpunkt um die Brennweite des Instruments von dem Bilde entfernt sein müssen. Soll dann eine deutliche Wahrnehmung möglich sein, so muß die Brennweite zum allermindesten den Abstand des Nahepunktes vom Augendrehpunkte erreichen, also für das normale Auge Erwachsener etwa 26 cm betragen. Dann ist eine deutliche Wahrnehmung unter den richtigen Gesichtswinkeln ermöglicht, aber die Akkommodationsanstrengung kann die Illusion beeinträchtigen, ganz abgesehen davon, daß dem übersichtigen und dem stark kurzsichtigen Auge auch nicht geholfen wäre. Das sich für Objektive viel kürzerer Brennweite zunächst darbietende Mittel, die Aufnahmen entsprechend zu vergrößern und sie dann richtig etwa aus dem Abstande des Nahepunktes zu betrachten, ist umständlich und teuer, so daß man zweckmäßig zu einem für subjektive Beobachtung bestimmten Instrument seine Zuflucht nehmen wird. Siehe auf S. 79 unter der Bezeichnung Verant.

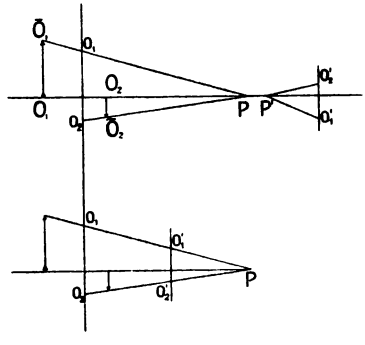



Fig. 21. Zur Perspektive photographischer Aufnahmen.

In der oberen Zeichnung bedeuten $o_1$ und $o_2$ die $\bar{O}_1$ und $\bar{O}_2$ im objektseitigen Abbilde entsprechenden Punkte; $o_1'$ und $o_2'$ sind die konjugierten Punkte des bildseitigen Abbildes. Wie aus dem unteren Teile der Figur ersichtlich ist, läßt sich das bildseitige Abbild in eine solche Lage bringen, daß es sich für den mit $P$ zusammenfallend gedachten Augendrehpunkt mit dem objektseitigen und den Objekten selbst genau deckt.

Betrachtet man aber Photogramme aus einem unrichtigen (meist zu großen) Abstande, so werden die auf S. 28 geschilderten Grenzfälle der Fälschung des Eindrucks, nämlich eine verhältnismäßige Vergrößerung des Vordergrundes oder eine übertriebene Tiefenausdehnung möglich. Sie sind von Photographen aus einer Verkennung der Sachlage heraus mit dem Namen **Weitwinkelperspektive** belegt worden, wozu hier noch einige Bemerkungen gemacht werden sollen.

Wenn bei einer bestimmten Plattengröße der halben Plattenlänge $Y'$ ein möglichst großer Bildwinkel $W$ entsprechen soll, so muß man eine möglichst kleine Brennweite wählen, wie das aus der Gleichung 7) auf S. 35 folgt:

$$f = \frac{Y'}{\operatorname{tg} W}.$$

Da die Plattengröße nun mit dem Umfange und dem Gewicht der Kamera in engem Zusammenhange steht, und man natürlich bei leichten, tragbaren Kameras keine unmäßigen Plattengrößen verwenden kann, so folgt für Objekte mit großem Bildwinkel (Weitwinkelobjektive) eine kleine Brennweite etwa zwischen 9 und 12 cm, also auch Betrachtungsabstände, die merklich kleiner sind als die Entfernung des Nahepunktes von dem Augendrehpunkt bei den meisten Augen. Mithin werden der Natur der Sache nach Weitwinkelaufnahmen aus einem zu großen Abstande betrachtet und müssen die oben gekennzeichneten Fälschungen erkennen lassen. Es darf aber auch nicht verschwiegen werden, daß bei Weitwinkelaufnahmen sehr wohl der ganze Gesichtswinkel ($2W$) den übertreffen kann, der durch die Augenbewegungen ermöglicht ist. Alsdann ist überhaupt keine Möglichkeit vorhanden, das Photogramm mit ruhig gehaltenem Kopfe zu betrachten, und man muß zu der auf S. 25 beschriebenen Schlüssellochbetrachtung greifen, wenn man einen naturgetreuen Eindruck erhalten will (Fig. 22).

Handelt es sich um Aufnahmen mit Objektiven sehr langer Brennweite (Teleobjektiven s. S. 54), so können sie aus einem zu kurzen Abstande angeschaut werden, und dann werden die umgekehrten Folgen eintreten: „Teleobjektive liefern eine flache Perspektive," wie die Aussage mancher Photographen lautet. Hier ist natürlich stets die Möglichkeit gegeben, den richtigen Eindruck durch Vergrößerung des Beobachtungsabstandes herbeizuführen.

Die Kenntnis des bei photographischen Aufnahmen räumlich ausgedehnter Objekte eintretenden Projektionsvorganges ist von großer Wichtigkeit für die Photogrammetrie (Bildmeßkunst). Namentlich in neuerer Zeit hat man durch die Arbeiten von G. Hauck und S. Finsterwalder gelernt, mit Hilfe der Methoden der neueren Geometrie aus zwei von verschiedenen Standpunkten gewonnenen Aufnahmen eines räumlich ausgedehnten Objekts dieses wiederherzustellen. Von großer Bedeutung sind die verschiedenen älteren und neueren photogrammetrischen Verfahren besonders für die Aufnahme von Bauwerken, für die Herstellung genauer Karten von schwer zugänglichen Gebieten u. a.

Auch für den Gebrauch beider Augen kann die Photographie verwandt werden, und sie liefert dann stereoskopische Aufnahmen; ja man kann sagen, die Aufnahmen in der Kamera bieten die wichtigste Quelle für Stereogramme. Hier handelt es sich wegen des geringen beim Menschen vorkommenden Augenabstandes meistens um kleine Plattenformate und um Objektive von kleiner Brennweite, die eine Benutzung von Betrachtungssystemen nötig machen. Darüber wird bei den Instrumenten zu subjektivem Gebrauche zu handeln sein; jetzt sei nur so viel bemerkt, daß man aus Gründen der Bequemlichkeit für stereoskopische Aufnahmen in der Regel zwei Objektive gleicher Brennweite verwendet und sie meistens so anbringt, daß ihre Achsen auf der gemeinsamen Mattscheibe senkrecht stehen.

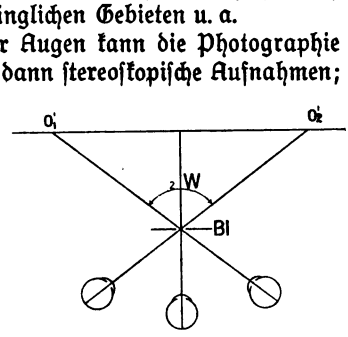



Fig. 22. Zur Weitwinkelperspektive. Die Weitwinkelaufnahme $o_1' o_2'$ wird mit bewegtem Kopfe durch die vorgesetzte Blende *Bl* wie durch ein Schlüsselloch hindurch betrachtet.

c) Die Strahlungsvermittlung. Von größter Wichtigkeit ist bei photographischen Aufnahmen die im Bildelement erzielte Stärke der Beleuchtung, die von dem Öffnungsverhältnis des Objektivs abhängt.

Stellt man sich, wie in Fig. 23, ein zentriertes System und ein achsenssenkrechtes Objektelement bei *O* vor, so wird die Anzahl der in die Eintrittspupille gesandten Strahlen nach S. 11 durch das Quadrat des Sinus des Öffnungswinkels *u* gemessen. Das Entsprechende gilt ohne weiteres für die Bildseite, nur muß man die

für die Objektseite gültigen Bestimmungsstücke durch die zur Bildseite gehörigen ersetzten. Nimmt man nun an, daß alles von dem Objektelement bei $O$ in die Eintrittspupille gestrahlte Licht auch ungeändert die Austrittspupille verlasse, um bei $O'$ wieder vereinigt zu werden, so sieht man, daß die Stärke der Beleuchtung bei $O'$ abhängt von der dort erzielten linearen Vergrößerung.

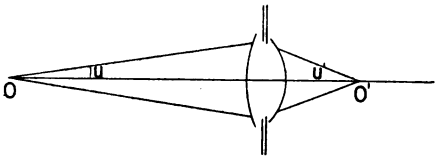



Fig. 23. Zur Strahlungsvermittlung durch photographische Objektive.

$O$ Ort des Objektelements, $O'$ des Bildelements; $u$ der durch die Eintrittspupille bestimmte objektseitige, $u'$ der durch die Austrittspupille bestimmte bildseitige Öffnungswinkel.

Rückt das Objektelement weit fort, so daß nur wesentlich parallele Strahlen eintreten (Fig. 24), so läßt sich die Stärke der Beleuchtung auf der Mattscheibe ausdrücken durch das Quadrat des Bruches

$$\frac{\text{Durchmesser der Eintrittspupille}}{\text{Systembrennweite}} \quad \text{oder} \quad \frac{d}{f}.$$

Es gibt also $\left(\frac{d}{f}\right)^2$ ein Maß für die Beleuchtungsstärke in dem ebenen Bilde eines weit entfernten Achsenelements.

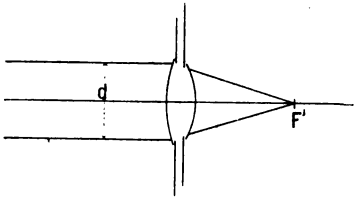



Fig. 24. Zur Strahlungsvermittlung durch photographische Objektive.

Da sich das Objektelement im Unendlichen befindet, also nur parallele Strahlenbündel vom Durchmesser $d$ aussendet, so liegt das Bildelement in der Nachbarschaft des bildseitigen Brennpunkts $F'$.

Dieser Bruch $\frac{d}{f}$ spielt nun gerade beim photographischen Objektiv, wo die Objekte sehr weit entfernt liegen, eine große Rolle; man bezeichnet ihn als Öffnungsverhältnis und gibt ihn an durch einen Bruch mit dem Zähler 1, also etwa 1:4,5, 1:6,3 usw. Durch dieses Öffnungsverhältnis wird die relative Lichtstärke des Objektivs gemessen. Handelt es sich jetzt um die absolute Lichtstärke, so ist folgendes zu beachten. Trifft Licht auf eine Fläche, an die zwei Mittel mit verschiedenen Brechungsexponenten grenzen, so geht nur der Hauptteil in das zweite Medium über, ein kleinerer (für die verschiedenen in der optischen Praxis vorkommenden

Neigungswinkel übrigens gleicher) Teil wird nach dem ersten Mittel zurückgeworfen. Beim photographischen Objektiv kommen als solche reflektierenden Flächen besonders die Grenzflächen gegen Luft in Betracht, und deren gibt es bei den verschiedenen Objektivtypen 2, 4, 6 oder 8. Die Reflexion an Kittflächen kann wegen ihrer Geringfügigkeit hier außer acht gelassen werden. Die durch jene Grenzflächen gegen Luft hervorgerufenen Verluste betragen entsprechend etwa 9, 17, 25 oder 32 % von dem auffallenden Lichte. Diese Verluste sind aber nicht der einzige Nachteil der Reflexionen an den Grenzflächen: durch zweimalige Spiegelung gelangt ein zwar kleiner, aber doch nicht zu vernachlässigender Bruchteil des aufgefallenen Lichtes noch auf die photographische Platte und wirkt im günstigsten Falle nur ausgleichend auf die Kontraste zwischen hell und dunkel (er vermindert die Brillanz der Aufnahme). Häufig aber bilden sich durch diese doppelten Spiegelungen auch mehr oder minder scharf abgegrenzte Flecke (Blendenflecke, Nebenbilder), die zwar manchmal nicht auffallen, unter Umständen aber auch sehr störend werden können.

Der Verlust durch Absorption in den Linsen und Kittschichten ist bei dem kleinen Maßstabe, in dem die photographischen Objektive in der Regel ausgeführt werden, nicht von großer Bedeutung. Mindestens hat dieser Absorptionsverlust nicht die üblen Begleiterscheinungen, die bei der Reflexion noch auftraten: das absorbierte Licht fällt einfach fort.

Die Folge dieser Lichtverluste ist die, daß die vom Öffnungsverhältnis sowie von den Reflexions- und Absorptionsverlusten abhängige absolute Lichtstärke eine Vergleichung von Systemen verschiedener Typen sehr erschwert. In der Regel begnügt man sich mit der Angabe des Öffnungsverhältnisses und der Anzahl der reflektierenden Flächen.

Die beim photographischen Objektiv vorliegenden Verhältnisse zwingen dazu, nicht bloß axiale, sondern auch solche Objektelemente zu betrachten, die einen endlichen Winkelabstand von der Achse haben (Fig. 25). Von Interesse ist dabei namentlich die Beantwortung der Frage: welcher Unterschied in der Beleuchtungsstärke der des Achsenelements gegenüber tritt bei einem bestimmten Neigungswinkel $w$ auf? Die Antwort lautet: solange gar keine Vignettierung (s. S. 8, 9) eintritt, ist mit ausreichender Annäherung:

Beleuchtungsstärke für die Neigung $w$ = Beleuchtungsstärke des axialen Elements × 4. Potenz von $\cos w$.

Die Folge davon iſt die, daß die Beleuchtungsſtärke infolge der Schiefe der Neigung $w$ nach dem Plattenrande außerordentlich raſch abnimmt. Bei etwa $21\frac{1}{2}^0$ ſind nur noch drei Viertel, bei $33^0$ iſt nur noch die Hälfte der in der Plattenmitte wirkenden Beleuchtung vorhanden. Dieſer Umſtand ſollte eigentlich die Verwendung von Neigungswinkeln auch nur beſcheidener Größe unmöglich machen; aber das verhält ſich doch nicht ſo, weil nicht nur das Menſchenauge, ſondern auch die photographiſche Platte gegen Ungleichmäßigkeiten der Beleuchtungsſtärke außerordentlich unempfindlich iſt. Das iſt auch ein Hauptgrund, warum die großen Lichtverluſte bei der Einführung ſo vieler Flächen gegen Luft ſo wenig auffallen; denn es bedeuten dieſe 17 % Mehrverluſt in der Bildmitte eines Achtflächners keinen ſo großen Schaden, da doch der Vierflächner für einen Neigungswinkel von etwa $17\frac{1}{2}^0$ auch nur noch die gleiche Beleuchtungsſtärke beſitzt, ohne daß man einen Helligkeitsunterſchied gegen die Mitte bemerkt. Natürlich iſt dieſe Schlußweiſe nur ſo lange gültig, als es ſich nicht um ſehr große Neigungswinkel $w$ handelt, dieſe aber werden bei lichtſtarken Objektiven, und nur ſolche haben mehr als vier Flächen gegen Luft, von ſelbſt vermieden. Für ganz große Neigungswinkel müſſen beſondere Ausgleichsvorrichtungen vorgeſehen werden. Vor allem aber muß man darauf achten, daß nicht die Faſſungsränder ſtark vignettieren. S. S. 8, 9.

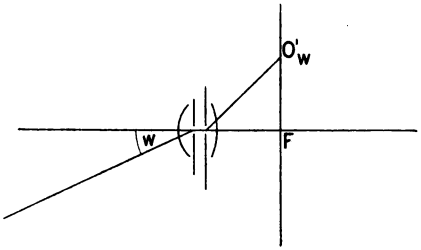



Fig. 25. Zur Strahlungsvermittlung bei außeraxialen Elementen.

Das unter $w$ erſcheinende, ſehr entfernt angenommene Objektelement wird in der Nachbarſchaft des Punktes $O'w$ der bildſeitigen Brennebene $F$ abgebildet. (Statt $F$ muß $F'$ ſtehen.)

Zwiſchen dem Öffnungsverhältnis und der Belichtungszeit beſteht bei den photographiſchen Verfahren wenigſtens angenähert der Zuſammenhang, daß

das Quadrat des Öffnungsverhältniſſes $\times$ Belichtungszeit ein Maß für die Schwärzung der Platte

abgibt. Nimmt alſo das Öffnungsverhältnis auf die Hälfte ab, ſo muß die Belichtungsdauer vervierfacht werden, wenn die gleiche Schwärzung der Platte erzielt werden ſoll. Die Wahl des Öff-

nungsverhältnisses ist bei den photographischen Objektiven in gewisser Weise in das Belieben des Benutzers gestellt und zwar durch die Möglichkeit der Abblendung. Dadurch kann man, von dem Maximalwert ausgehend, das Öffnungsverhältnis mehr oder minder verkleinern. Dies geschieht entweder durch einen bestimmten Blendensatz oder durch Irisblenden. Die ersterwähnten sind länger im allgemeinen Gebrauche, sei es als Rotationsblenden (von der Mikroskopeinrichtung übernommen) oder als Schieberblenden (von J. Waterhouse 1858 eingeführt). Die Irisblenden traten, soweit die Konstruktionsidee in Frage kommt, schon 1804, möglicherweise schon um die Mitte des siebzehnten Jahrhunderts auf, doch hat man erst spät, wohl kaum vor 1890, gelernt, sie so billig her-

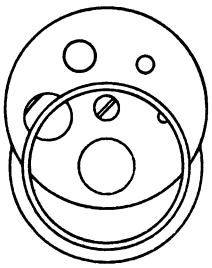


Fig. 26.
Eine Rotationsblende.

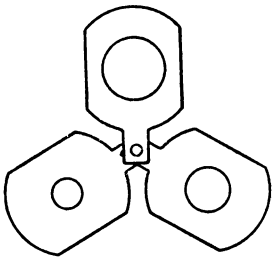


Fig. 27.
Ein Satz von Schieberblenden.

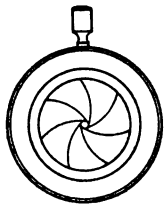


Fig. 28.
Eine Irisblende, stark zusammengezogen.

zustellen, daß sie in den allgemeinen Gebrauch kommen konnten. Die Öffnungen der Lochblenden und die Bezifferung der Irisblenden sind so gewählt, daß die entsprechenden aufeinander folgenden Öffnungsdurchmesser sich verhalten wie 1:0,71, damit die Belichtungszeit bei der folgenden Blende gerade verdoppelt werden muß (Fig. 26—28).

Schon bei der Besprechung der Tiefe (S. 36) war darauf hingewiesen worden, daß unter Festhaltung des Ortes der Eintrittspupille durch die Verminderung ihres Durchmessers eine weniger unscharfe Wiedergabe des Objekts auf der Einstellebene erzielt werden könne. Diese Forderung steht mit dem Wunsche eines großen Öffnungsverhältnisses und damit kurzer Belichtungsdauer durchaus nicht im Widerspruche, wenn die Wahl der Objektivbrennweite freisteht. Kann diese klein genug sein, so vermag man eine vor-

geschriebene Tiefenstrecke auch bei einem großen Öffnungsverhältnis mit vorgeschriebener Schärfe abzubilden. Hierin liegt der Vorteil kleinerer Objektive vor größeren hinsichtlich der Kürze der Belichtung. Ist aber die Brennweite des Objektivs und der Ort der Eintrittspupille vorgeschrieben, so läßt sich größere Tiefe nur auf Kosten der Lichtstärke und größere Helligkeit nur auf Kosten der Tiefe erreichen.

Der Grad der Schwärzung entspricht einmal (s. S. 42) dem Produkt aus dem Quadrat der relativen Objektivöffnung und der Belichtungszeit, anderseits der chemischen Intensität des von dem betreffenden Objektelement ausgestrahlten oder zurückgeworfenen Lichtes. Diese chemische Intensität ist nun von der auf unser Auge wirkenden Helligkeit sehr verschieden und zwar so, daß für die gewöhnlichen Trockenplatten die kurzwelligen blauen und violetten Strahlen stark, die langwelligen gelben und roten schwach wirken. Daraus erklärt sich die unrichtige Wiedergabe von Farbentönen durch die Photographie. H. W. Vogel zeigte im Anfange der siebziger Jahre den Weg, Platten auch für andere Spektralbezirke (z. B. für Gelb und Rot) empfindlich zu machen (zu sensibilisieren). Solche Platten nennt man orthochromatische (farbenrichtige).

Bei natürlichen Objekten, wo die Intensitäten sich meistens allmählich, nicht sprungweise ändern, erfolgt auch im Photogramm der Übergang von den Lichtern zu den Schatten allmählich: das Photogramm zeigt Halbtöne. Anders ist es natürlich bei einer photographischen Wiedergabe einer Strichzeichnung oder eines Stiches; da in diesen Fällen die Schatten durch Häufung der Striche, die Lichter durch Vergrößerung der Zwischenräume hervorgebracht sind, so gilt das gleiche auch für die photographische Reproduktion solcher Blätter. Durch ein Ätzverfahren ist man imstande, die den Strichen entsprechenden weißen Linien des Negativs erhaben, die Zwischenräume vertieft zu erhalten und das so entstandene Relief als eine Druckplatte inmitten von Typendruck zu verwenden, genau so wie in früherer Zeit den Holzstock. Dieses Verfahren nennt man nach dem meistens dabei verwandten Metall Zinkographie. Die leichte Anwendbarkeit des Holzschnitts reizte schon früh dazu, eine Methode zu ersinnen, auch von gewöhnlichen Halbtonphotogrammen solche Hochdruckplatten herzustellen, die zur Illustrierung mitten im Typendruck dienen könnten. Es führte das zur Erfindung der Autotypie. Dabei wird nahe vor die lichtempfindliche Schicht und parallel zu ihr ein sehr gleichförmiges, ebenes System sich

unter 90° kreuzender Geraden geschoben (Fig. 29). Die dieses Liniensystem tragende Glasplatte nennt man ein Kreuzraster (etwa Kreuzrost). Damit gelingt es, die Halbtöne, die ohne das Raster entstehen würden, in Punktsysteme aufzulösen, deren Elemente in den Schatten groß sind und sich fast berühren, während sie in den Lichtern klein sind und daher verhältnismäßig weite Zwischenräume aufweisen (Fig. 30). Die Herstellung einer solchen Autotypieplatte aus Kupfer oder Zink geschieht ebenfalls durch Ätzung. Namentlich in Amerika ist man in der Herstellung von Autotypien sehr weit gekommen, und die Raster von Max Levy in Philadelphia erfreuen sich eines Weltrufes. Sie werden in verschiedener Feinheit angefertigt von 47 bis zu 79 Linien auf das Zentimeter, doch kommt für Spezialzwecke auch die außerordentlich hohe Zahl von 157 Linien vor. Die feineren und feinsten Raster verlangen die Verwendung von besonders gutem Papier und guter Farbe. Heutzutage ist die Autotypie für den Bilderschmuck illustrierter Zeitschriften ganz unentbehrlich geworden und hat den Holzschnitt hier schon sehr zurückgedrängt. Auch bei wissenschaftlichen Werken, namentlich geographischen Inhalts, findet sie sich bereits häufig.

Fig. 29. Ein kleines Stück eines stark vergrößerten Kreuzrasters.

Fig. 30. Eine Illustrationsprobe mit einem ganz groben Raster von 36 Linien auf das Zentimeter.

d) Die Strahlenvereinigung. Wird auch hier die Reihenfolge des allgemeinen Teils eingehalten, so handelt es sich zunächst um die Hebung der Farbenfehler. Hier liegen die Verhältnisse besonders verwickelt. Es war auf S. 13 darauf hingewiesen worden, daß man bei der Farbenkorrektion der Instrumente zu subjektivem Gebrauche die Schnittweiten der roten und der blauen Strahlen zusammenfallen läßt (dabei ist unter der Schnittweite der Abstand des Bildpunktes vom letzten Linsenscheitel verstanden); man nennt dies Verfahren die optische Achromatisierung. Sie hat zur Folge, daß die hellsten, gelbgrünen Strahlen sehr gut vereinigt werden. Beim photographischen Objektiv würde nun eine solche Wahl nahe liegen, bei der die violetten, chemisch wirksamsten oder aktinischen

Strahlen am besten vereinigt würden. Tatsächlich geht man so vor und wählt die rein aktinische Achromasie, wenn, wie beispielsweise bei Sternaufnahmen, die lichtempfindliche Schicht in einer und derselben Entfernung vom Linsensystem bleibt, die durch eine Reihe von Versuchsaufnahmen ermittelt werden kann. Bringt man eine Mattscheibe in diese Entfernung, so erscheint dem Auge allerdings das Bild der Sterne farbig und unscharf, doch kommt für die photographische Aufnahme darauf nichts an. Eine ganz andere Bedeutung aber wohnt dem auf das Auge wirkenden Mattscheibenbilde inne, wenn mit seiner Hilfe eingestellt werden muß, und dieser Fall liegt beim Objektiv der photographischen Kamera vor. Hier tritt die an sich wünschenswerte Vereinigung der chemischen Strahlen notgedrungen der Forderung gegenüber zurück, das optische (gelbgrüne) Bild solle mit dem aktinischen (indigovioletten) zusammenfallen. Diese Art, die Farbenfehler zu behandeln, wird als uneigentlich aktinische oder photographische Korrektion bezeichnet. So sind schon seit langer Zeit die Farbenfehler der photographischen Kameraobjektive behandelt worden; ist das nicht der Fall — und das kam in den Anfängen der photographischen Optik vor, wo diese Verhältnisse noch unbekannt waren oder außer acht gelassen wurden —, so weicht die Entfernung, in die die Kassette auf Grund der Einstellung mit der Mattscheibe gebracht wird, von dem Abstande ab, in dem das beste aktinische Bild entsteht. Die Aufnahme wird dann unscharf, und man hat diese Erscheinung ohne klare Einsicht in den soeben besprochenen Grund „chemischen Fokus" genannt.

Die Herstellung neuer Glasarten durch E. Abbe und O. Schott würde es erlaubt haben, auch beim photographischen Objektiv eine bessere Farbenvereinigung zu erreichen. Eine solche Verfeinerung der chromatischen Korrektion ist indessen für das gewöhnliche photographische Objektiv darum nicht nötig, weil es in der Regel nur in kleinen Brennweiten verwandt wird, und weil überhaupt seine ganze Benutzung zur Herstellung einer Abbildskopie durch die aktinischen Strahlen die durch eine bessere Farbenvereinigung erzielte höhere Schärfe nicht hervortreten lassen würde. Ganz anders aber liegen die Verhältnisse für Systeme, die den Zwecken des Dreifarbendruckes dienen sollen. Hier müssen drei identische Aufnahmen[1]) hergestellt werden, und zwar je mit Hilfe der roten,

1) Seit dem Frühjahr 1907, wo die Autochromplatten der Gebrüder Lumière zu Lyon veröffentlicht wurden, hat man die Möglichkeit, die

der grünen und der blauen Strahlen, die durch passende Filter abgesondert werden. Solche Filter können einfache, planparallele Glasplatten sein, die nur rotes oder grünes oder blaues Licht durchlassen; häufiger aber werden Farbflüssigkeiten verwandt in Trögen (*Vorsatzküvetten*), deren Seitenwände aus planparallelen Glasplatten gebildet sind. Als Objekt wird meistens eine ebene Darstellung, etwa ein Gemälde, dienen. Bei Benutzung eines Objektivs älterer Art müßte bei hohen Anforderungen an Genauigkeit unter Berücksichtigung der Lage der farbigen Kardinalpunkte für jede Strahlengattung besonders eingestellt werden, um für jede Farbe die gleiche Reduktion des Originals zu erhalten. Dagegen würden bei einem chromatisch gut korrigierten System auch die Kardinalpunkte der verschiedenen Strahlengattungen ein und dieselbe Lage haben, so daß man für alle drei Aufnahmen bei derselben Einstellung bleiben könnte. Solche besonders für die Zwecke der Reproduktion zu verwendenden Objektive nennt man Systeme mit *vermindertem sekundärem Spektrum* oder auch wohl — mit einiger Abweichung von der eigentlichen Bedeutung des Wortes — *Apochromatobjektive*. (S. S. 97.)

Was nun die Hebung der *sphärischen Aberrationen* angeht, so ist für das photographische Objektiv, das zur Herstellung von Reproduktionen benutzt wird, eine möglichst gleichmäßige Schärfe über ein verhältnismäßig großes Feld notwendig, und mehr oder minder werden diese Anforderungen auch an das gewöhnliche, zu Aufnahmen räumlich ausgedehnter Objekte bestimmte System gestellt. In der Regel wird dabei angenommen, daß eine Verkleinerung des Bildes herbeigeführt werden soll. Unter gleichmäßiger Schärfe ist nun nicht eine besonders gute Strahlenvereinigung, wie etwa bei einem Mikroskopobjektiv, verstanden: diese ist nicht nötig, da die Photogramme in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle mit bloßem Auge betrachtet werden. Ist hier nun für die Mitte des Gesichtsfeldes eine gewisse Freiheit in dem Zustande der Strahlenvereinigung gelassen, so sind die Ansprüche an den Rand des Bildfeldes wieder höher als bei den Instrumenten zu subjektivem Gebrauche, weil bei diesen große Neigungswinkel $w$

drei Bilder in den Grundfarben auf derselben Platte gleichsam ineinandergeschoben zu erhalten. Da hier die roten, grünen und blauen Filterelemente sehr fein sind, so sieht man nur ein Bild in nahezu natürlichen Farben, da die feinen Grundfarbenflecke in der Entfernung miteinander verschwimmen. S. auch L. Graetz S. 114 - 116.

überhaupt nicht vorkommen, während sie bei photographischen Weitwinkelobjektiven bis auf $w = 55^0$ und $70^0$ steigen. Daher war bei jenen Instrumenten ein bestimmter Fehler gar nicht besonders schädlich, der gleich in den ersten Tagen des photographischen Objektivs bemerkt wurde: der Astigmatismus (die Punktlosigkeit). Handelt es sich um die Erscheinungsform dieser Abweichung, so ist in der Figur 31 eine kleine kreuzförmige Austrittspupille angenommen worden, von der ein (fett ausgezogener) Hauptstrahl auf der rechten Seite des Beschauers die Papierebene in der Richtung nach hinten und oben verläßt. Die Arme des Kreuzes bestimmen mit der Richtung des Hauptstrahls zwei ebene Büschel, die sich senkrecht durchdringen. Der Astigmatismus besteht nun darin, daß diese beiden Büschel auf ihrem Hauptstrahle nicht einen und denselben Vereinigungspunkt (Stigma) haben, sondern zwei verschiedene. Wie aus der Figur klar wird, ist die Folge davon die, daß am Vereinigungspunkt $F_1'$ der Vertikalbüschel eine horizontale, am Vereinigungspunkte $F_2'$ der Horizontalbüschel eine vertikale Bild- oder Brennlinie entsteht. An dieser Punktlosigkeit (Astigmatismus) ändert sich nichts, wenn man die Austrittspupille statt kreuz- wieder kreisförmig und das Objekt senkrecht oberhalb der Achse annimmt, nur werden die Brennlinien in $F_1'$ und $F_2'$ etwas mehr verwaschen, worauf aber bei der folgenden Behandlung kein Gewicht gelegt werden soll. Man sieht leicht ein, daß das für beliebige außeraxiale Objekte gilt, nur muß man dann den Ausdruck „Vertikal"- durch „radial gerichtete" und „Horizontal"- durch „peripher gerichtete Büschel" ersetzen. Sucht man die Orte der beiden Brennlinien für verschiedene Hauptstrahlneigungen $w$ auf,

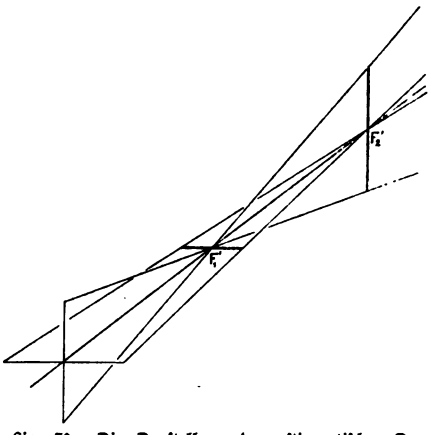



Fig. 31. Die Darstellung der astigmatischen Deformation eines engen, schief auffallenden Büschels. Die Figur ist der Deutlichkeit wegen stark schematisiert, und die Winkel der vier Strahlen gegen die Büschelachse sind viel zu groß gezeichnet. Nur die Vertikal- und die Horizontalbüschel sind in der Darstellung wiedergegeben.

so erhält man die astigmatischen Bildflächen oder Schalen der Vertikal- oder Radial- und der Horizontal- oder Peripherbüschel. Beide Schalen berühren sich in dem Hauptbrennpunkte $F'$ (Fig. 32). Die Beschaffenheit der Bilder ausgedehnter Objekte hängt nun in folgender Weise von dieser eigentümlichen Natur der astigmatischen Büschel ab, und alle ein gewöhnliches System schief durchsetzenden Büschel sind astigmatisch: Es sei (Fig. 33) ein kleines, kreuzförmiges Objekt senkrecht oberhalb der Achse angenommen; bringt man die Mattscheibe in die Schale der peripheren Büschel, so wird jeder Punkt in eine vertikale Linie ausgezogen, und man erhält ein Bildkreuz mit scharf erscheinendem vertikalem und verschwommenem horizontalem Arme. Wenn man aber auf die Schale der radialen Büschel einstellt, so ist die Verteilung der Schärfe umgekehrt. In jedem Falle erhält das Bild ein Aussehen, das als einen schädlichen Schärfenfehler zu vermeiden man mit vollem Recht bemüht war.

Zunächst gelang es, die beiden verschiedenen Bildpunkte schiefer Büschel je auf dem Hauptstrahle in einen zusammenfallen zu lassen,

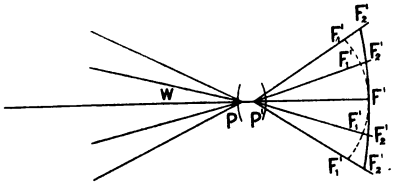



Fig. 32. Die astigmatischen Bildflächen eines unkorrigierten Systems.

Die gestrichelte Kurve bedeutet den Schnitt durch die Schale der Radialbüschel, die ausgezogene den durch die Schale der Peripherbüschel.

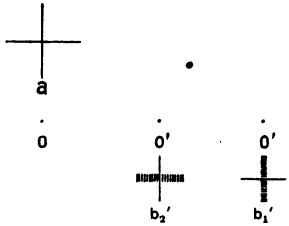



Fig. 33. Zur Erscheinungsform des Astigmatismus.

$a$ das Objektkreuz, $b_2'$ das Bildkreuz, wenn die Mattscheibe in der Fläche der peripheren Büschel steht, $b_1'$ das Bildkreuz, wenn die Mattscheibe in der Fläche der radialen Büschel steht.

so daß für ein unendlich entferntes Objekt ein Achsenschnitt durch Objektiv und Bildfläche etwa das in Figur 34 dargestellte Ansehen hatte; die Bildfläche hatte die Gestalt einer ihre Höhlung gegen das Objektiv kehrenden Schale. Man sieht ohne weiteres ein, daß eine nach $F'$, also an den Ort der besten Mittelschärfe gebrachte Platte eine nach dem Rande rasch zunehmende Unschärfe zeigen muß, und man wählte deshalb eine ausgleichende Einstellung. Man bezeichnet diesen Zustand leichtverständlicherweise als Bildfeldkrümmung und richtete seit langer Zeit seine Bestrebungen

dahin, das anastigmatische (etwa punktlosigkeitsfreie) Bild zu ebenen oder anastigmatische Bildfeldebenung herbeizuführen.

In sphärisch korrigierten Systemen mit dieser Eigenschaft verbreitet sich tatsächlich eine gleichmäßige Schärfe über die photographische Platte, und nach S. 15 bleibt nur noch ein Fehler zu berücksichtigen, die Verzeichnung oder Distortion (Fig. 35). Diese Abweichung besteht darin, daß der Maßstab der Darstellung des Objekts von der Mitte nach dem Rande keinen einheitlichen Wert hat, sondern entweder abnimmt oder wächst. Im ersten Falle spricht man von tonnenförmiger, im zweiten von kissenförmiger Verzeichnung. Beiden Arten von Verzeichnung ist die Krümmung aller nicht durch die Plattenmitte gehender Geraden gemeinsam. Als hauptsächlichstes Mittel gegen die Verzeichnung wenden die Optiker die Symmetrie der Konstruktionen gegen die Blendenebene an. Wenig

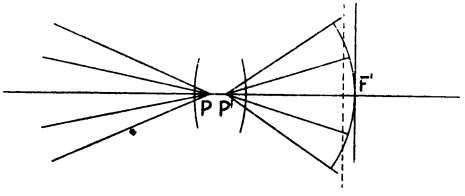



Fig. 34. Die Bildfeldkrümmung anastigmatischer Objektive.
Die gestrichelte Vertikale bedeutet die Lage der Mattscheibe bei ausgleichender Einstellung.

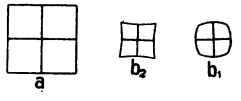



Fig. 35. Zur Verzeichnung photographischer Objektive.
a quadratisches Objekt, $b_1$ sein Bild mit tonnenförmiger, $b_2$ mit kissenförmiger Verzeichnung.

unterrichtete Photographen sprechen wohl auch von Verzeichnung bei der scheinbaren Vergrößerung des Vordergrundes auf Photogrammen, die mit Objektiven kurzer Brennweite hergestellt wurden. Das ist aber, wie aus den Überlegungen auf S. 27/28 hervorgeht, ein Fehler nicht des Objektivs, sondern des Beschauers.

e) Die gebräuchlichen Objektivtypen[1]). Diese sind hier nach der Lichtstärke angeordnet, und es sei bemerkt, daß die Blende des photographischen Objektivs in der Regel von den Systemteilen eingeschlossen wird. Sicher gilt dies für die Objektive der drei ersten Klassen.

1) Genauere Auskunft über die Entwicklung des photographischen Objektivs erhält man aus M. von Rohr: Theorie und Geschichte des photographischen Objektivs. Berlin, J. Springer, 1899, XX, 436 S., 8° mit 148 Textfig. und 4 Tafeln.

1. Die Porträtobjektive. Es sind das Typen sehr großen Öffnungsverhältnisses bis zu 1:2,5 herauf, in der Regel von 1:3 ab. Die Hebung der sphärischen Aberration und des Astigmatismus ist absolut notwendig, bei größerem Bildfelde auch die Herbeiführung der anastigmatischen Bildfeldebenung. Die kleineren Brennweiten dienen als Kinematographenobjektive. Die Anzahl der reflektierenden Flächen ist 6 oder 8.
2. Die Universalobjektive. Solche mit Öffnungsverhältnissen von 1:4,5 stehen den Porträtobjektiven nahe und weisen wegen der Ansprüche an die Schärfe ebenfalls jene Zahl von reflektierenden Flächen auf. Die lichtschwächeren Typen von 1:7 ab zeigen in der Regel nur 4 Flächen gegen Luft. Bei allen wird ein Gesichtsfeld von mehr als $50^0$ gefordert, und für diesen Winkel sollen sie anastigmatische Bildfeldebenung und Verzeichnungsfreiheit zeigen. Die lichtschwächeren, etwa von 1:9 ab, nähern sich schon der folgenden Klasse. Eine besondere Gruppe bilden die Satzobjektive, von deren Elementen weiter unten die Rede ist.
3. Die Weitwinkelobjektive. Hier ist weniger Gewicht auf die Mittelschärfe und mehr auf Verzeichnungsfreiheit und anastigmatische Bildebenung zu legen. Die relativen Öffnungen sind klein, von 1:18 abwärts; mehr als 4 Flächen gegen Luft kommen nicht vor.
4. Die Landschafts- und Satzlinsen. Dies sind die einzigen Objektive mit Vorderblende; sie verzeichnen alle tonnenförmig in mäßigem Grade. Die sphärische Korrektion ist für kleine Öffnungen etwa von 1:12 ab erreicht; die Herbeiführung anastigmatischer Bildfeldebenung ist möglich. Sie dienen, symmetrisch zur Blende gestellt, zur Bildung der in der 2. Klasse erwähnten Satzobjektive (s. S. 53 und 54).

f) Die historische Entwicklung. Es sind hier vier Hauptgruppen zu unterscheiden, und zwar beschränkte sich die Erfindungstätigkeit in manchen Zeitabschnitten auf die Entwicklung einzelner der oben aufgeführten Gruppen.

I. Die Petzvalsche Periode (1840—1857). — Die Photographen bedienten sich in der ersten Zeit vielfach achromatischer Landschaftslinsen mit Vorderblende (hervorgegangen aus dem Meniskus nach W. H. Wollaston), wie sie namentlich in Frankreich mit einem Öffnungsverhältnis von etwa 1:14 hergestellt wurden. Die Lichtschwäche dieser Systeme heischte gebieterisch Abhilfe, und von Ama-

Die Folge davon ist die, daß die Beleuchtungsstärke infolge der Schiefe der Neigung $w$ nach dem Plattenrande außerordentlich rasch abnimmt. Bei etwa $21\frac{1}{2}^0$ sind nur noch drei Viertel, bei $33^0$ ist nur noch die Hälfte der in der Plattenmitte wirkenden Beleuchtung vorhanden. Dieser Umstand sollte eigentlich die Verwendung von Neigungswinkeln auch nur bescheidener Größe unmöglich machen; aber das verhält sich doch nicht so, weil nicht nur das Menschenauge, sondern auch die photographische Platte gegen Ungleichmäßigkeiten der Beleuchtungsstärke außerordentlich unempfindlich ist. Das ist auch ein Hauptgrund, warum die großen Lichtverluste bei der Einführung so vieler Flächen gegen Luft so wenig auffallen; denn es bedeuten diese 17 % Mehrverlust in der Bildmitte eines Achtflächners keinen so großen Schaden, da doch der Vierflächner für einen Neigungswinkel von etwa $17\frac{1}{2}^0$ auch nur noch die gleiche Beleuchtungsstärke besitzt, ohne daß man einen Helligkeitsunterschied gegen die Mitte bemerkt. Natürlich ist diese Schlußweise nur so lange gültig, als es sich nicht um sehr große Neigungswinkel $w$ handelt, diese aber werden bei lichtstarken Objektiven, und nur solche haben mehr als vier Flächen gegen Luft, von selbst vermieden. Für ganz große Neigungswinkel müssen besondere Ausgleichsvorrichtungen vorgesehen werden. Vor allem aber muß man darauf achten, daß nicht die Fassungsränder stark vignettieren. S. S. 8, 9.

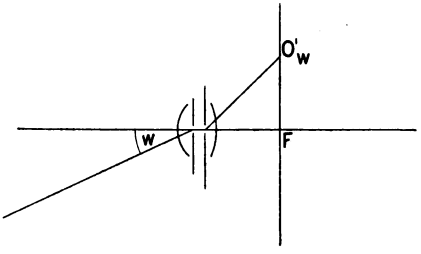



Fig. 25. Zur Strahlungsvermittlung bei außeraxialen Elementen.

Das unter $w$ erscheinende, sehr entfernt angenommene Objektelement wird in der Nachbarschaft des Punktes $O'w$ der bildseitigen Brennebene $F$ abgebildet. (Statt $F$ muß $F'$ stehen.)

Zwischen dem Öffnungsverhältnis und der Belichtungszeit besteht bei den photographischen Verfahren wenigstens angenähert der Zusammenhang, daß

das Quadrat des Öffnungsverhältnisses × Belichtungszeit ein Maß für die Schwärzung der Platte

abgibt. Nimmt also das Öffnungsverhältnis auf die Hälfte ab, so muß die Belichtungsdauer vervierfacht werden, wenn die gleiche Schwärzung der Platte erzielt werden soll. Die Wahl des Öff-

nungsverhältnisses ist bei den photographischen Objektiven in gewisser Weise in das Belieben des Benutzers gestellt und zwar durch die Möglichkeit der Abblendung. Dadurch kann man, von dem Maximalwert ausgehend, das Öffnungsverhältnis mehr oder minder verkleinern. Dies geschieht entweder durch einen bestimmten Blendensatz oder durch Irisblenden. Die ersterwähnten sind länger im allgemeinen Gebrauche, sei es als Rotationsblenden (von der Mikroskopeinrichtung übernommen) oder als Schieberblenden (von J. Waterhouse 1858 eingeführt). Die Irisblenden traten, soweit die Konstruktionsidee in Frage kommt, schon 1804, möglicherweise schon um die Mitte des siebzehnten Jahrhunderts auf, doch hat man erst spät, wohl kaum vor 1890, gelernt, sie so billig her-

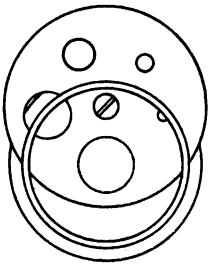


Fig. 26.
Eine Rotationsblende.

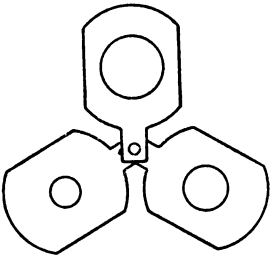


Fig. 27.
Ein Satz von Schieberblenden.

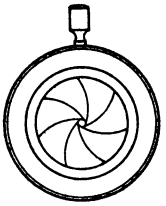


Fig. 28.
Eine Irisblende, stark zusammengezogen.

zustellen, daß sie in den allgemeinen Gebrauch kommen konnten. Die Öffnungen der Lochblenden und die Bezifferung der Irisblenden sind so gewählt, daß die entsprechenden aufeinander folgenden Öffnungsdurchmesser sich verhalten wie 1:0,71, damit die Belichtungszeit bei der folgenden Blende gerade verdoppelt werden muß (Fig. 26—28).

Schon bei der Besprechung der Tiefe (S. 36) war darauf hingewiesen worden, daß unter Festhaltung des Ortes der Eintrittspupille durch die Verminderung ihres Durchmessers eine weniger unscharfe Wiedergabe des Objekts auf der Einstellebene erzielt werden könne. Diese Forderung steht mit dem Wunsche eines großen Öffnungsverhältnisses und damit kurzer Belichtungsdauer durchaus nicht im Widerspruche, wenn die Wahl der Objektivbrennweite freisteht. Kann diese klein genug sein, so vermag man eine vor-

geschriebene Tiefenstrecke auch bei einem großen Öffnungsverhältnis mit vorgeschriebener Schärfe abzubilden. Hierin liegt der Vorteil kleinerer Objektive vor größeren hinsichtlich der Kürze der Belichtung. Ist aber die Brennweite des Objektivs und der Ort der Eintrittspupille vorgeschrieben, so läßt sich größere Tiefe nur auf Kosten der Lichtstärke und größere Helligkeit nur auf Kosten der Tiefe erreichen.

Der Grad der Schwärzung entspricht einmal (s. S. 42) dem Produkt aus dem Quadrat der relativen Objektivöffnung und der Belichtungszeit, anderseits der chemischen Intensität des von dem betreffenden Objektelement ausgestrahlten oder zurückgeworfenen Lichtes. Diese chemische Intensität ist nun von der auf unser Auge wirkenden Helligkeit sehr verschieden und zwar so, daß für die gewöhnlichen Trockenplatten die kurzwelligen blauen und violetten Strahlen stark, die langwelligen gelben und roten schwach wirken. Daraus erklärt sich die unrichtige Wiedergabe von Farbentönen durch die Photographie. H. W. Vogel zeigte im Anfange der siebziger Jahre den Weg, Platten auch für andere Spektralbezirke (z. B. für Gelb und Rot) empfindlich zu machen (zu sensibilisieren). Solche Platten nennt man orthochromatische (farbenrichtige).

Bei natürlichen Objekten, wo die Intensitäten sich meistens allmählich, nicht sprungweise ändern, erfolgt auch im Photogramm der Übergang von den Lichtern zu den Schatten allmählich: das Photogramm zeigt Halbtöne. Anders ist es natürlich bei einer photographischen Wiedergabe einer Strichzeichnung oder eines Stiches; da in diesen Fällen die Schatten durch Häufung der Striche, die Lichter durch Vergrößerung der Zwischenräume hervorgebracht sind, so gilt das gleiche auch für die photographische Reproduktion solcher Blätter. Durch ein Ätzverfahren ist man imstande, die den Strichen entsprechenden weißen Linien des Negativs erhaben, die Zwischenräume vertieft zu erhalten und das so entstandene Relief als eine Druckplatte inmitten von Typendruck zu verwenden, genau so wie in früherer Zeit den Holzstock. Dieses Verfahren nennt man nach dem meistens dabei verwandten Metall Zinkographie. Die leichte Anwendbarkeit des Holzschnitts reizte schon früh dazu, eine Methode zu ersinnen, auch von gewöhnlichen Halbtonphotogrammen solche Hochdruckplatten herzustellen, die zur Illustrierung mitten im Typendruck dienen könnten. Es führte das zur Erfindung der Autotypie. Dabei wird nahe vor die lichtempfindliche Schicht und parallel zu ihr ein sehr gleichförmiges, ebenes System sich

unter $90^0$ kreuzender Geraden geschoben (Fig. 29). Die dieses Linienſystem tragende Glasplatte nennt man ein Kreuzraſter (etwa Kreuzroſt). Damit gelingt es, die Halbtöne, die ohne das Raſter entſtehen würden, in Punktſyſteme aufzulöſen, deren Elemente in den Schatten groß ſind und ſich faſt berühren, während ſie in den Lichtern klein ſind und daher verhältnismäßig weite Zwiſchenräume aufweiſen (Fig. 30). Die Herſtellung einer ſolchen Autotypieplatte aus Kupfer oder Zink geſchieht ebenfalls durch Ätzung. Namentlich in Amerika iſt man in der Herſtellung von Autotypien ſehr weit gekommen, und die Raſter von Max Levy in Philadelphia erfreuen ſich eines Weltrufes. Sie werden in verſchiedener Feinheit angefertigt von 47 bis zu 79 Linien auf das Zentimeter, doch kommt für Spezialzwecke auch die außerordentlich hohe Zahl von 157 Linien vor. Die feineren und feinſten Raſter verlangen die Verwendung von beſonders gutem Papier und guter Farbe. Heutzutage iſt die Autotypie für den Bilderſchmuck illuſtrierter Zeitſchriften ganz unentbehrlich geworden und hat den Holzſchnitt hier ſchon ſehr zurückgedrängt. Auch bei wiſſenſchaftlichen Werken, namentlich geographiſchen Inhalts, findet ſie ſich bereits häufig.

Fig. 29. Ein kleines Stück eines ſtark vergrößerten Kreuzraſters.

Fig. 30. Eine Illuſtrationsprobe mit einem ganz groben Raſter von 36 Linien auf das Zentimeter.

d) Die Strahlenvereinigung. Wird auch hier die Reihenfolge des allgemeinen Teils eingehalten, ſo handelt es ſich zunächſt um die Hebung der Farbenfehler. Hier liegen die Verhältniſſe beſonders verwickelt. Es war auf S. 13 darauf hingewieſen worden, daß man bei der Farbenkorrektion der Inſtrumente zu ſubjektivem Gebrauche die Schnittweiten der roten und der blauen Strahlen zuſammenfallen läßt (dabei iſt unter der Schnittweite der Abſtand des Bildpunktes vom letzten Linſenſcheitel verſtanden); man nennt dies Verfahren die optiſche Achromatiſierung. Sie hat zur Folge, daß die hellſten, gelbgrünen Strahlen ſehr gut vereinigt werden. Beim photographiſchen Objektiv würde nun eine ſolche Wahl nahe liegen, bei der die violetten, chemiſch wirkſamſten oder aktiniſchen

Strahlen am besten vereinigt würden. Tatsächlich geht man so vor und wählt die rein aktinische Achromasie, wenn, wie beispielsweise bei Sternaufnahmen, die lichtempfindliche Schicht in einer und derselben Entfernung vom Linsensystem bleibt, die durch eine Reihe von Versuchsaufnahmen ermittelt werden kann. Bringt man eine Mattscheibe in diese Entfernung, so erscheint dem Auge allerdings das Bild der Sterne farbig und unscharf, doch kommt für die photographische Aufnahme darauf nichts an. Eine ganz andere Bedeutung aber wohnt dem auf das Auge wirkenden Mattscheibenbilde inne, wenn mit seiner Hilfe eingestellt werden muß, und dieser Fall liegt beim Objektiv der photographischen Kamera vor. Hier tritt die an sich wünschenswerte Vereinigung der chemischen Strahlen notgedrungen der Forderung gegenüber zurück, das optische (gelbgrüne) Bild solle mit dem aktinischen (indigovioletten) zusammenfallen. Diese Art, die Farbenfehler zu behandeln, wird als uneigentlich aktinische oder photographische Korrektion bezeichnet. So sind schon seit langer Zeit die Farbenfehler der photographischen Kameraobjektive behandelt worden; ist das nicht der Fall — und das kam in den Anfängen der photographischen Optik vor, wo diese Verhältnisse noch unbekannt waren oder außer acht gelassen wurden —, so weicht die Entfernung, in die die Kassette auf Grund der Einstellung mit der Mattscheibe gebracht wird, von dem Abstande ab, in dem das beste aktinische Bild entsteht. Die Aufnahme wird dann unscharf, und man hat diese Erscheinung ohne klare Einsicht in den soeben besprochenen Grund „chemischen Fokus" genannt.

Die Herstellung neuer Glasarten durch E. Abbe und O. Schott würde es erlaubt haben, auch beim photographischen Objektiv eine bessere Farbenvereinigung zu erreichen. Eine solche Verfeinerung der chromatischen Korrektion ist indessen für das gewöhnliche photographische Objektiv darum nicht nötig, weil es in der Regel nur in kleinen Brennweiten verwandt wird, und weil überhaupt seine ganze Benutzung zur Herstellung einer Abbildskopie durch die aktinischen Strahlen die durch eine bessere Farbenvereinigung erzielte höhere Schärfe nicht hervortreten lassen würde. Ganz anders aber liegen die Verhältnisse für Systeme, die den Zwecken des Dreifarbendruckes dienen sollen. Hier müssen drei identische Aufnahmen[1]) hergestellt werden, und zwar je mit Hilfe der roten,

1) Seit dem Frühjahr 1907, wo die Autochromplatten der Gebrüder Lumière zu Lyon veröffentlicht wurden, hat man die Möglichkeit, die

der grünen und der blauen Strahlen, die durch passende Filter abgesondert werden. Solche Filter können einfache, planparallele Glasplatten sein, die nur rotes oder grünes oder blaues Licht durchlassen; häufiger aber werden Farbflüssigkeiten verwandt in Trögen (Vorsatzküvetten), deren Seitenwände aus planparallelen Glasplatten gebildet sind. Als Objekt wird meistens eine ebene Darstellung, etwa ein Gemälde, dienen. Bei Benutzung eines Objektivs älterer Art müßte bei hohen Anforderungen an Genauigkeit unter Berücksichtigung der Lage der farbigen Kardinalpunkte für jede Strahlengattung besonders eingestellt werden, um für jede Farbe die gleiche Reduktion des Originals zu erhalten. Dagegen würden bei einem chromatisch gut korrigierten System auch die Kardinalpunkte der verschiedenen Strahlengattungen ein und dieselbe Lage haben, so daß man für alle drei Aufnahmen bei derselben Einstellung bleiben könnte. Solche besonders für die Zwecke der Reproduktion zu verwendenden Objektive nennt man Systeme mit vermindertem sekundärem Spektrum oder auch wohl — mit einiger Abweichung von der eigentlichen Bedeutung des Wortes — Apochromatobjektive. (S. S. 97.)

Was nun die Hebung der sphärischen Aberrationen angeht, so ist für das photographische Objektiv, das zur Herstellung von Reproduktionen benutzt wird, eine möglichst gleichmäßige Schärfe über ein verhältnismäßig großes Feld notwendig, und mehr oder minder werden diese Anforderungen auch an das gewöhnliche, zu Aufnahmen räumlich ausgedehnter Objekte bestimmte System gestellt. In der Regel wird dabei angenommen, daß eine Verkleinerung des Bildes herbeigeführt werden soll. Unter gleichmäßiger Schärfe ist nun nicht eine besonders gute Strahlenvereinigung, wie etwa bei einem Mikroskopobjektiv, verstanden: diese ist nicht nötig, da die Photogramme in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle mit bloßem Auge betrachtet werden. Ist hier nun für die Mitte des Gesichtsfeldes eine gewisse Freiheit in dem Zustande der Strahlenvereinigung gelassen, so sind die Ansprüche an den Rand des Bildfeldes wieder höher als bei den Instrumenten zu subjektivem Gebrauche, weil bei diesen große Neigungswinkel $w$

drei Bilder in den Grundfarben auf derselben Platte gleichsam ineinandergeschoben zu erhalten. Da hier die roten, grünen und blauen Filterelemente sehr fein sind, so sieht man nur ein Bild in nahezu natürlichen Farben, da die feinen Grundfarbenflecke in der Entfernung miteinander verschwimmen. S. auch L. Graetz S. 114 - 116.

überhaupt nicht vorkommen, während sie bei photographischen Weitwinkelobjektiven bis auf $w = 55^0$ und $70^0$ steigen. Daher war bei jenen Instrumenten ein bestimmter Fehler gar nicht besonders schädlich, der gleich in den ersten Tagen des photographischen Objektivs bemerkt wurde: der Astigmatismus (die Punktlosigkeit). Handelt es sich um die Erscheinungsform dieser Abweichung, so ist in der Figur 31 eine kleine kreuzförmige Austrittspupille angenommen worden, von der ein (fett ausgezogener) Hauptstrahl auf der rechten Seite des Beschauers die Papierebene in der Richtung nach hinten und oben verläßt. Die Arme des Kreuzes bestimmen mit der Richtung des Hauptstrahls zwei ebene Büschel, die sich senkrecht durchdringen. Der Astigmatismus besteht nun darin, daß diese beiden Büschel auf ihrem Hauptstrahle nicht einen und denselben Vereinigungspunkt (Stigma) haben, sondern zwei verschiedene. Wie aus der Figur klar wird, ist die Folge davon die, daß am Vereinigungspunkt $F_1'$ der Vertikalbüschel eine horizontale, am Vereinigungspunkte $F_2'$ der Horizontalbüschel eine vertikale Bild- oder Brennlinie entsteht. An dieser Punktlosigkeit (Astigmatismus) ändert sich nichts, wenn man die Austrittspupille statt kreuz- wieder kreisförmig und das Objekt senkrecht oberhalb der Achse annimmt, nur werden die Brennlinien in $F_1'$ und $F_2'$ etwas mehr verwaschen, worauf aber bei der folgenden Behandlung kein Gewicht gelegt werden soll. Man sieht leicht ein, daß das für beliebige außeraxiale Objekte gilt, nur muß man dann den Ausdruck „Vertikal"- durch „radial gerichtete" und „Horizontal"- durch „peripher gerichtete Büschel" ersetzen. Sucht man die Orte der beiden Brennlinien für verschiedene Hauptstrahlneigungen $w$ auf,

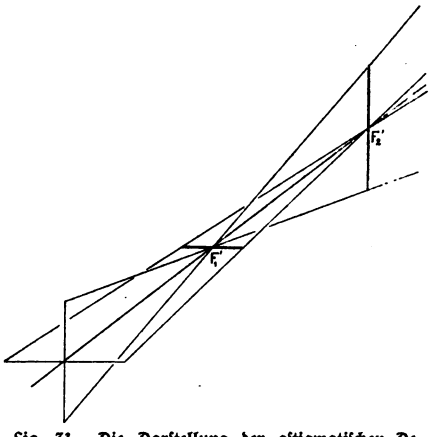



Fig. 31. Die Darstellung der astigmatischen Deformation eines engen, schief auffallenden Büschels. Die Figur ist der Deutlichkeit wegen stark schematisiert, und die Winkel der vier Strahlen gegen die Büschelachse sind viel zu groß gezeichnet. Nur die Vertikal- und die Horizontalbüschel sind in der Darstellung wiedergegeben.

so erhält man die astigmatischen Bildflächen oder Schalen der Vertikal- oder Radial- und der Horizontal- oder Peripherbüschel. Beide Schalen berühren sich in dem Hauptbrennpunkte $F'$ (Fig. 32). Die Beschaffenheit der Bilder ausgedehnter Objekte hängt nun in folgender Weise von dieser eigentümlichen Natur der astigmatischen Büschel ab, und alle ein gewöhnliches System schief durchsetzenden Büschel sind astigmatisch: Es sei (Fig. 33) ein kleines, kreuzförmiges Objekt senkrecht oberhalb der Achse angenommen; bringt man die Mattscheibe in die Schale der peripheren Büschel, so wird jeder Punkt in eine vertikale Linie ausgezogen, und man erhält ein Bildkreuz mit scharf erscheinendem vertikalem und verschwommenem horizontalem Arme. Wenn man aber auf die Schale der radialen Büschel einstellt, so ist die Verteilung der Schärfe umgekehrt. In jedem Falle erhält das Bild ein Aussehen, das als einen schädlichen Schärfenfehler zu vermeiden man mit vollem Recht bemüht war.

Zunächst gelang es, die beiden verschiedenen Bildpunkte schiefer Büschel je auf dem Hauptstrahle in einen zusammenfallen zu lassen,

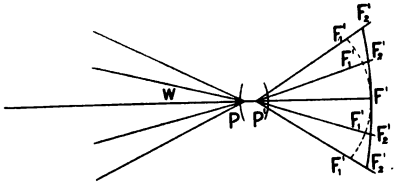



Fig. 32. Die astigmatischen Bildflächen eines unkorrigierten Systems.

Die gestrichelte Kurve bedeutet den Schnitt durch die Schale der Radialbüschel, die ausgezogene den durch die Schale der Peripherbüschel.

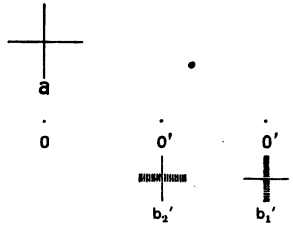



Fig. 33. Zur Erscheinungsform des Astigmatismus.

$a$ das Objektkreuz, $b_2'$ das Bildkreuz, wenn die Mattscheibe in der Fläche der peripheren Büschel steht, $b_1'$ das Bildkreuz, wenn die Mattscheibe in der Fläche der radialen Büschel steht.

so daß für ein unendlich entferntes Objekt ein Achsenschnitt durch Objektiv und Bildfläche etwa das in Figur 34 dargestellte Ansehen hatte; die Bildfläche hatte die Gestalt einer ihre Höhlung gegen das Objektiv kehrenden Schale. Man sieht ohne weiteres ein, daß eine nach $F'$, also an den Ort der besten Mittelschärfe gebrachte Platte eine nach dem Rande rasch zunehmende Unschärfe zeigen muß, und man wählte deshalb eine ausgleichende Einstellung. Man bezeichnet diesen Zustand leichtverständlicherweise als Bildfeldkrümmung und richtete seit langer Zeit seine Bestrebungen

dahin, das anastigmatische (etwa punktlosigkeitsfreie) Bild zu ebenen oder anastigmatische Bildfeldebenung herbeizuführen.

In sphärisch korrigierten Systemen mit dieser Eigenschaft verbreitet sich tatsächlich eine gleichmäßige Schärfe über die photographische Platte, und nach S. 15 bleibt nur noch ein Fehler zu berücksichtigen, die Verzeichnung oder Distortion (Fig. 35). Diese Abweichung besteht darin, daß der Maßstab der Darstellung des Objekts von der Mitte nach dem Rande keinen einheitlichen Wert hat, sondern entweder abnimmt oder wächst. Im ersten Falle spricht man von tonnenförmiger, im zweiten von kissenförmiger Verzeichnung. Beiden Arten von Verzeichnung ist die Krümmung aller nicht durch die Plattenmitte gehender Geraden gemeinsam. Als hauptsächlichstes Mittel gegen die Verzeichnung wenden die Optiker die Symmetrie der Konstruktionen gegen die Blendenebene an. Wenig

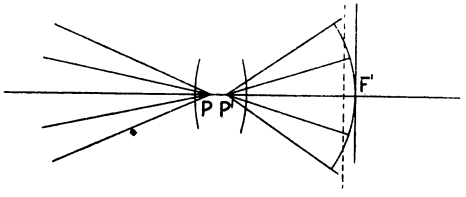



Fig. 34. Die Bildfeldkrümmung anastigmatischer Objektive.
Die gestrichelte Vertikale bedeutet die Lage der Mattscheibe bei ausgleichender Einstellung.

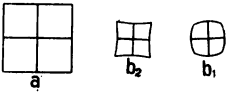



Fig. 35. Zur Verzeichnung photographischer Objektive.
*a* quadratisches Objekt, $b_1$ sein Bild mit tonnenförmiger, $b_2$ mit kissenförmiger Verzeichnung.

unterrichtete Photographen sprechen wohl auch von Verzeichnung bei der scheinbaren Vergrößerung des Vordergrundes auf Photogrammen, die mit Objektiven kurzer Brennweite hergestellt wurden. Das ist aber, wie aus den Überlegungen auf S. 27/28 hervorgeht, ein Fehler nicht des Objektivs, sondern des Beschauers.

e) Die gebräuchlichen Objektivtypen[1]). Diese sind hier nach der Lichtstärke angeordnet, und es sei bemerkt, daß die Blende des photographischen Objektivs in der Regel von den Systemteilen eingeschlossen wird. Sicher gilt dies für die Objektive der drei ersten Klassen.

1) Genauere Auskunft über die Entwicklung des photographischen Objektivs erhält man aus M. von Rohr: Theorie und Geschichte des photographischen Objektivs. Berlin, J. Springer, 1899, XX, 436 S., 8° mit 148 Textfig. und 4 Tafeln.

1. Die Porträtobjektive. Es sind das Typen sehr großen Öffnungsverhältnisses bis zu 1:2,5 herauf, in der Regel von 1:3 ab. Die Hebung der sphärischen Aberration und des Astigmatismus ist absolut notwendig, bei größerem Bildfelde auch die Herbeiführung der anastigmatischen Bildfeldebenung. Die kleineren Brennweiten dienen als Kinematographenobjektive. Die Anzahl der reflektierenden Flächen ist 6 oder 8.
2. Die Universalobjektive. Solche mit Öffnungsverhältnissen von 1:4,5 stehen den Porträtobjektiven nahe und weisen wegen der Ansprüche an die Schärfe ebenfalls jene Zahl von reflektierenden Flächen auf. Die lichtschwächeren Typen von 1:7 ab zeigen in der Regel nur 4 Flächen gegen Luft. Bei allen wird ein Gesichtsfeld von mehr als $50^0$ gefordert, und für diesen Winkel sollen sie anastigmatische Bildfeldebenung und Verzeichnungsfreiheit zeigen. Die lichtschwächeren, etwa von 1:9 ab, nähern sich schon der folgenden Klasse. Eine besondere Gruppe bilden die Satzobjektive, von deren Elementen weiter unten die Rede ist.
3. Die Weitwinkelobjektive. Hier ist weniger Gewicht auf die Mittelschärfe und mehr auf Verzeichnungsfreiheit und anastigmatische Bildebenung zu legen. Die relativen Öffnungen sind klein, von 1:18 abwärts; mehr als 4 Flächen gegen Luft kommen nicht vor.
4. Die Landschafts- und Satzlinsen. Dies sind die einzigen Objektive mit Vorderblende; sie verzeichnen alle tonnenförmig in mäßigem Grade. Die sphärische Korrektion ist für kleine Öffnungen etwa von 1:12 ab erreicht; die Herbeiführung anastigmatischer Bildfeldebenung ist möglich. Sie dienen, symmetrisch zur Blende gestellt, zur Bildung der in der 2. Klasse erwähnten Satzobjektive (s. S. 53 und 54).

f) Die historische Entwicklung. Es sind hier vier Hauptgruppen zu unterscheiden, und zwar beschränkte sich die Erfindungstätigkeit in manchen Zeitabschnitten auf die Entwicklung einzelner der oben aufgeführten Gruppen.

I. Die Petzvalsche Periode (1840—1857). — Die Photographen bedienten sich in der ersten Zeit vielfach achromatischer Landschaftslinsen mit Vorderblende (hervorgegangen aus dem Meniskus nach W. H. Wollaston), wie sie namentlich in Frankreich mit einem Öffnungsverhältnis von etwa 1:14 hergestellt wurden. Die Lichtschwäche dieser Systeme heischte gebieterisch Abhilfe, und von Ama-

teuren seiner Bekanntschaft mit der Aufgabe bekannt gemacht, berechnete der Wiener Mathematiker J. Petzval 1840 sein berühmtes Porträtobjektiv mit großer Öffnung 1:3,4 und vollkommener sphärischer und anastigmatischer Korrektion. Seine Ausführung übertrug er der damals in Wien bestehenden optischen Anstalt Fr. Voigtländers. Das System war optisch achromatisiert, besaß also einen chemischen Fokus. Es verbreitete sich außerordentlich rasch, wurde im In- und Auslande vielfach hergestellt, und es steht auch heute noch bei Porträtphotographen vielfach im Gebrauch. In England und Frankreich wurde es auch schon früh, im Anfang der vierziger Jahre, mit photographischer Korrektion versehen. Die Verbindung zwischen J. Petzval und Fr. Voigtländer löste sich bald, und die Versuche des erstgenannten, um 1857 ein weniger lichtstarkes Dublett als Landschaftsobjektiv in die Praxis einzuführen, schlugen fehl. Dagegen errang er mit der um dieselbe Zeit in seinen Objektiven durchgeführten photographischen Korrektion den Erfolg, daß die optisch achromatisierten Porträtobjektive nunmehr auch in Deutschland aus der regelmäßigen Herstellung verschwanden. Die Umänderung der Farbenkorrektion führte er im wesentlichen durch die Benutzung eines stärker farbenzerstreuenden Krons herbei.

II. Die Periode der verzeichnungsfreien Weitwinkelobjektive in England (1857—1866). — Die namentlich in England mit großem Erfolge betriebene Amateurphotographie zeitigte den Wunsch, außer den alten Systemen, der Landschaftslinse und dem Porträtobjektiv, noch ein System mit größerem Gesichtsfelde zu besitzen. Da die vielversprechenden Ansätze A. S. Wolcotts um 1843 unbeachtet geblieben waren, so kam man erst zu Beginn der sechziger Jahre zu einem Universalobjektiv mit erweitertem Bildfelde, dem auch sphärisch korrigierten Triplett J. H. Dallmeyers, sowie zu zwei eigentlichen Weitwinkeln, dem Dublett von Th. Roß und der Kugellinse von C. C. Harrison und J. Schnitzer, zwei Systemen, bei denen die sphärische Korrektion nicht erreicht worden war. Von großer Bedeutung war es, daß die Bedingungen für die Verzeichnungsfreiheit namentlich durch Robert H. Bow eine klassische Behandlung erfuhren. Die Arbeiten von Th. Grubb und J. H. Dallmeyer an der Verbesserung der Landschaftslinse sowie von dem letztgenannten an dem Porträtobjektiv mögen auch noch erwähnt werden.

III. Die Steinheilsche Periode (1865—1885). — Die Wiederbelebung der photographischen Optik in Deutschland ging von München aus, wo der vielseitige Physiker Carl August Steinheil 1855 eine optische Werkstätte zunächst für Fernrohre begründet hatte. Sein mit der Vornahme der Rechenarbeiten betrauter Sohn Hugo Adolf war für photographische Konstruktionen nach einem 1865 von dem Münchener Mathematiker Ludwig Seidel ausgearbeiteten Verfahren geübt, und er ließ dem Periskop von 1865 im nächsten Jahre die sehr wichtigen symmetrischen Aplanate folgen. Diese Systeme wurden sehr bald allgemein als Universalobjektive anerkannt und zu dem notwendigen Handwerkszeug des Photographen gerechnet. Sie wurden in verschiedenen Öffnungsverhältnissen vom eigentlichen Universalobjektiv mittlerer Lichtstärke bis zum lichtschwachen Weitwinkelobjektiv herab ausgeführt. Ihre Hälften wurden in verhältnismäßig früher Zeit namentlich in Frankreich zur Bildung von Satzobjektiven verwandt.

1881 führte H. A. Steinheil nach umfangreichen Rechnungen seine Antiplanetkonstruktionen ein, von denen die lichtstärkere bei Freiheit von Astigmatismus eine größere Annäherung an die Bildfeldebenung besaß als das Petzvalsche Porträtobjektiv.

IV. Die Periode der modernen Anastigmate und des Teleobjektivs (seit 1886). — Die Eröffnung des Jenaer Glaswerks machte sich auf photographischem Gebiete zunächst nicht einschneidend bemerkbar. Die erste erfolgreiche Neuerung erschien 1890/91 durch Paul Rudolph von der Zeißischen Werkstätte. Er führte in seinen Anastigmaten (später Protaren) vierflächige Universalobjektive ein, bei denen die sphärische Korrektion mit anastigmatischer Bildebenung verbunden war, und zwar war für diese Konstruktion die Verwendung des hochbrechenden Bariumkrons (also einer neuen Glasart)[1]) als notwendig erkannt worden. Die allgemeine Entwicklung der deutschen Optik schlug zunächst diesen Weg ein, man stellte vierflächige, häufig symmetrische Objektive her, deren verkittete Komponenten neue Glasarten, namentlich das hochbrechende Kron, enthielten. Zunächst ist da der von E. von Höegh berechnete Doppelanastigmat der Goerzischen Anstalt und das Zeißische Doppelamatar von P. Rudolph,

1) Während das alte Kron stets einen niedrigen Berechnungsexponenten hatte, etwa 1,51, ließ sich das neue Bariumkron mit Exponenten von 1,57 bis 1,61 herstellen.

sowie die Steinheilschen Orthostigmate und die Voigtländerschen Kollineare von R. Steinheil und D. Kaempfer zu nennen. 1894 korrigierte P. Rudolph die Einzellinse in sehr vollkommener Weise und verwandte sie als Element zur Bildung von Satzobjektiven.

In England hatte seit 1893 Harold Dennis Taylor von der Dublettkonstruktion abweichend den Typus der Tripletts ausgebildet und mit seiner Cooke-Linse sehr schöne Erfolge erzielt. Ja in einer nicht in den Handel gebrachten Form hatte er ein nur leichtes Kron und schweres Flint (also alte Glasarten) enthaltendes Triplett gleichzeitig sphärisch korrigiert und mit anastigmatischer Bildebenung versehen. Die konkurrierende Firma J. H. Dallmeyer hatte nicht viel später eine moderne Konstruktion unter dem Namen Stigmat auch für größere Öffnungen entwickelt, doch ist für diese Firma vielleicht von noch größerer Bedeutung die Ausbildung der Teleobjektive, woran Th. R. Dallmeyer große Verdienste hat.

Man versteht unter einem Teleobjektiv eine aus einem Positivgliede längerer und einem Negativgliede kürzerer Brennweite sehr häufig mit veränderlichem Abstande zusammengesetzte Kombination, wie sie für photographische Zwecke zuerst von dem italienischen Ingenieur J. Porro verwandt worden ist. Ein solches System hat die Eigenschaft, daß die Hauptpunkte weit objektwärts verschoben sind, und es wird aus Figur 36 klar, daß man trotz des kurzen Kameraauszuges $L_2F'$ doch beträchtliche ($HF$ entsprechende) Bildgrößen erhält. Ein weiterer Vorteil liegt in der sehr weitgehenden Änderung der Äquivalentbrennweite $HF$, die durch eine kleine Änderung des Linsenabstandes erreicht werden kann. Man verwendet das Teleobjektiv bei ruhiger Luft zu Fernaufnahmen, ferner mit großem Vorteil zur Wiedergabe schwer zugänglicher Architekturdetails und schließlich auch zu Porträtaufnahmen. Bei der letzten Benutzung liegt der Vorteil sowohl in der durch den verhältnismäßig großen Objektivabstand bedingten Verkleinerung des Gesichtswinkels der Aufnahme, als auch in der Möglichkeit, bei gegebenem Standpunkt (also vorgeschriebener Perspektive) den Reduktionsmaßstab beliebig wählen zu können.

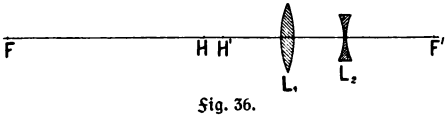



Fig. 36.
Schematische Darstellung der Lage der Kardinalpunkte bei einem photographischen Teleobjektiv.

Später hat man damit Anklang gefunden, auf die Variabilität des Auszuges zu verzichten und dafür die Aufhebung der Bildfehler vollkommener zu erreichen: Bis-Telar von C. Busch, Magnar von C. Zeiß.

Die Unmöglichkeit, mit den anastigmatisch korrigierten Dubletts sehr große Öffnungen zu erreichen, führte zur Steigerung der Anzahl der Flächen gegen Luft, wobei dann die Notwendigkeit hochbrechenden Kronglases zur Erzielung anastigmatischer Bildebenung fortfällt. Zuerst erschien 1896 das von P. Rudolph berechnete Planar der Zeißischen Werkstätte, und man kann sagen, daß jetzt unter den Optikern Deutschlands die Acht- oder Sechsflächner großer Öffnung und geebneten Bildfeldes eine sehr große Bedeutung gewonnen haben. Zum Teil werden sie auch nur aus alten Glasarten (leichtem Kron und schwerem Flint) hergestellt. In alphabetischer Reihenfolge seien die nachstehenden Firmen aufgeführt: R. und J. Beck: Isostigmar; Emil Busch, Akt.-Ges., Optische Industrie: Busch-Anastigmat, Omnar, Stigmar; C. P. Goerz: Syntor, Celor, Alethar; E. Leitz: Summar; H. Meyer & Ko.: Aristostigmat; P. Reichert: Solar; J. Rodenstock: Eurynar; Gebr. Schulze & Billerbeck: Eurynplan; Dr. Staeble & Co.: Choroplast, Polyplast; C. A. Steinheil Söhne: Unofokal, Triplar; Fr. Voigtländer & Sohn: Heliar, Dynar, Oxyn; C. Zeiß: Planar, Unar, Tessar.

## 2. Die Camera obscura als Zeichenapparat.

Den Übergang von den photographischen Objektiven zu den eigentlichen Projektionssystemen bilden die Linsen der Camera obscura; noch bei Goethe „dunkle Kammer". Dieser Ausdruck ist aber anscheinend nach der Erfindung der Photographie wohl wegen Kollision mit der völlig verschiedenen „Dunkelkammer" allmählich wieder verschwunden.

Der optische Teil dieses jetzt ziemlich außer Gebrauch gekommenen Zeichenapparats hat etwa die in Fig. 37 dargestellte Form, und zwar kehrt zweckmäßigerweise der Zeichner den aufzunehmenden Objekten den Rücken, weil er in diesem Falle das nachzuzeichnende,

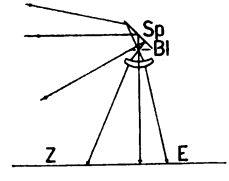



Fig. 37. Schematische Darstellung einer mit einem Wollastonschen Meniskus mit Vorderblende ausgerüsteten Camera obscura. *Sp* Planspiegel, *Bl* Vorderblende, *Z E* Zeichenebene.

auf der Zeichenebene entworfene bildseitige Abbild aufrecht vor sich hat. Durch ein Zelt oder eine Art Kasten mußte alles nicht durch die Linse gegangene Licht abgehalten werden. Die optische Theorie dieses Instruments ist offensichtlich mit der des photographischen Apparats identisch. In der Geschichte tritt die Camera obscura sogar viel früher auf — der Apparat G. Portas geht auf das sechzehnte Jahrhundert zurück —, ja die photographischen Verfahren (S. 32) sind beide aus dem Wunsche entstanden, das in der Camera obscura entstehende Bild durch chemische Verfahren zu fixieren.

Bei den alten Apparaten unterschied man zwei Formen, nämlich den soeben beschriebenen Zeichenapparat und dann eine Ausführung, wo die Abbildung auf einen weißen oder durchscheinenden Schirm nur für die Zeit der Betrachtung entworfen wurde. Die Einrichtungen mit durchscheinendem Schirme wurden tragbar hergestellt und dienten hauptsächlich als Kinderspielzeug; die mit weißem Schirme waren kleine dunkle Zimmer, in denen die Umgebung auf einer weißen Wand oder einer weißen Tischfläche wiedergegeben wurde. Man sieht diese Einrichtungen noch jetzt manchmal an Aussichtspunkten, und sie haben hier und da auch eine Anwendung für militärische Zwecke (beispielsweise zur unauffälligen Markierung von Seeminen) gefunden.

### 3. Die eigentlichen Projektionssysteme.

Hatten die photographischen Objektive im wesentlichen den Zweck, körperliche Gegenstände in kleinem Maße wiederzugeben, so ist die Aufgabe des Projektionssystems (nach dem 1908 von dem Berliner Arzt R. Neuhauß gemachten Vorschlage des Bildwerfers) wohl ohne Ausnahme darin gegeben, auf einem Auffangeschirme einer größeren Zuschauerschaft Vergrößerungen vorzuführen. In der Regel verwendet man dazu ohne weiteres photographische Objektive selbst, doch kommt es auch vor, daß die photographische Farbenkorrektion (S. 46) im Interesse des veränderten Zweckes hier durch eine optische ersetzt wird. Im allgemeinen wird man indessen auf diesen doch nur geringen Vorteil der größeren Kosten wegen verzichten. Jedenfalls muß man aber darauf achten, daß die Rückseite des photographischen Objektivs dem Objekt zugekehrt werden muß, wenn es sich um Vergrößerungen handelt, denn es liegt dann der gleiche, nur in umgekehrter Richtung durchlaufene Strahlengang vor, wie er bei der Berechnung des photographischen Ob-

jektivs (s. S. 47) vorausgesetzt wurde. Die Formeln, mittels derer aus der vorgeschriebenen Vergrößerungszahl und der Brennweite des Projektionssystems der Abstand der objektseitigen Einstellungsebene und des Schirms berechnet wird, sind die gleichen wie die auf S. 34 gegebenen, nur muß hier wie auf S. 35 ein echter Bruch $\frac{1}{N}$ für $M$ eingesetzt werden.

Bevor jedoch die Einzelheiten der Projektionseinrichtung auseinander gesetzt werden können, muß ein Hilfsapparat, der Scheinwerfer, erläutert werden.

Der Scheinwerfer (früher Projekteur, deutscher, jetzt allein üblicher Name schon früh von dem Ingenieur Fr. v. Hefner-Alteneck nicht gebildet aber eingeführt) ist ein Spiegelsystem zur Beleuchtung ferner Objekte namentlich für militärische Zwecke. Auf dem fernen Objekt bildet man den Krater einer Bogenlampe ab. Die einfachste Form, bei der die sphärische Aberration beseitigt ist, ist die eines paraboloischen Hohlspiegels, doch beschlägt ein solcher Metallspiegel schnell und büßt an Reflexionsvermögen ein. Man kam dann darauf, eine von zwei Rotationsparaboloiden begrenzte Glasschale als Träger der Versilberung zu verwenden, und tatsächlich liefert eine solche Form eine gute Beleuchtung und hat nebenbei den praktischen Vorteil einer gleichmäßigen Dicke der Trägerschicht. Unter Aufgabe dieser Bedingung hat der französische Offizier A. Mangin in den siebziger Jahren einen von zwei sphärischen Flächen begrenzten Spiegel vorgeschlagen, der auch von sphärischer Aberration frei ist. Bei größerem Öffnungsverhältnis aber nimmt die Randdicke außerordentlich schnell zu, was den Spiegel der Gefahr des Zerspringens aussetzt.

a) Die episkopische Projektion oder die Projektion mit auffallendem Licht. Die soeben beschriebene Verwendung des photographischen Objektivs findet sich da, wo es sich darum handelt, schwarz-weiße Drucke, seltener gewöhnliche Photogramme, vergrößert auf einem Schirme wiederzugeben. Da diese Objekte durch diffuses, d. h. nach allen Richtungen gestrahltes Licht sichtbar werden, so würde die Verwendung des photographischen Objektivs zur Vergrößerung ohne weitere Hilfsmittel bei einer mäßigen, etwa 15- bis 20fachen Vergrößerung außerordentlich dunkle Bilder ergeben, denn die vom Objektivelement in das System gestrahlte Lichtmenge wird auf ein Bildelement verteilt, das einen 225- bis 400fachen Flächeninhalt hat. Das einzige Mittel, das man gegen

diese Dunkelheit anwenden kann, besteht darin, eine außerordentliche Beleuchtungsstärke auf dem zu vergrößernden Objekt zu erzeugen, etwa indem man das aus einem Scheinwerfer tretende Lichtbündel auf das zu projizierende Objekt fallen läßt. Strahlt die Lichtquelle nach allen Seiten, so kann man durch das Sammelsystem nur einen Teil ihrer Strahlung aufnehmen; bei der Bogenlampe tritt der günstige Umstand ein, daß sie ihr Licht hauptsächlich in einen begrenzten Winkelraum sendet, so daß es von dem Hohlspiegel fast ganz aufgenommen werden kann. Die durch das parallelstrahlige Lichtbündel auf dem Objekt hervorgerufene Beleuchtungsstärke erzeugt eine diffuse Strahlung, deren Intensität zunächst von der Beschaffenheit der beleuchteten Oberfläche abhängt. Je nach ihrer Weiße oder Albedo wird nur ein bestimmter Teil zurückgeworfen, der im günstigsten Falle z. B. bei weißem Papier 0,4 beträgt, wenn die Intensität des auffallenden Lichtes gleich 1 gesetzt wird. Ein weiterer Lichtverlust tritt dadurch ein, daß die diffuse Strahlung nach allen Richtungen geht, während durch die Eintrittspupille selbst eines sehr lichtstarken Projektionssystems nur ein verhältnismäßig kleiner Teil aufgenommen werden kann. Die so bestimmte Lichtmenge wird auf dem Schirme einem Bilde zugeführt, das eine 225- bis 400fache Flächenausdehnung hat, und die Beleuchtungsstärke muß dort noch stark genug sein, um eine genügend helle diffuse Strahlung mit allen ihren Verlusten hervorzurufen. Es wird hiermit verständlich geworden sein, daß man bei den angeführten Vergrößerungszahlen noch keinen Überfluß an Licht hat, und man muß daher auf eine Auswahl geeigneter Objekte bedacht sein. Am besten eignen sich zu solchen Vorführungen schwarze Strichzeichnungen auf weißem Grunde sowie Diagramme, Drucke, Schriften, weil dabei die Kontraste besonders groß sind. Objekte mit Halbtönen, also beispielsweise gewöhnliche Photogramme, sind weniger geeignet. Auf die Besonderheiten der Per-

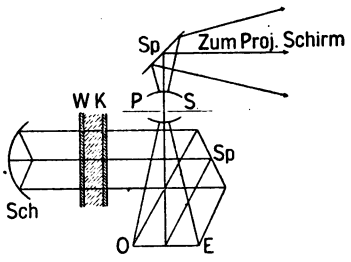



Fig. 38. Das Schema des Strahlenganges bei der Projektion mit auffallendem Lichte. *Sch* Scheinwerferhohlspiegel, *WK* Wasserkammer, *Sp* Spiegel, *OE* Ebene für die Objekte, *PS* Projektionssystem, *Sp* Spiegel.

spektive projizierter Photogramme wird an einer späteren Stelle (S. 64) hingewiesen werden.

Diese episkopische Projektion läßt sich ohne weiteres auch auf körperlich ausgedehnte Objekte anwenden. Diese müssen aus demselben Grunde, der für die ebenen Objekte gilt, stark beleuchtet werden, und sie verhalten sich dann genau so wie die Objekte der gewöhnlichen photographischen Kamera. Der einzige Unterschied besteht darin, daß in diesem Falle das objektseitige Abbild nicht verkleinert, sondern vergrößert wird. Die Strahlenbegrenzung ist hier also genau in derselben Weise zu behandeln wie beim photographischen Objektiv (S. 36/37).

Der Eindruck, den eine solche Vorführung nicht gar zu tiefer Objekte (Blumenstücke, Maschinenteile, Gliedmaßen, ja sogar des Operationsfeldes) macht, ist sehr überraschend. Obwohl man die Darstellung nur mit einem Auge betrachten sollte, so wirkt doch die große Entfernung (mindestens von einigen Metern) insofern günstig, als die flächenhafte Ausdehnung des bildseitigen Abbildes auch durch den Gebrauch beider Augen nicht unmittelbar entdeckt wird, und die Erfahrung die räumliche Verteilung wenigstens angenähert richtig erschließen läßt. Da der Natur der Sache nach die Tiefenerstreckung der Objekte an sich sehr beschränkt ist, so fällt ihre Änderung nicht sehr auf, obwohl sie für alle Zuschauer vorhanden sein muß, den ausgenommen, der sich gerade an der richtigen Stelle befindet. Bei 15facher Vergrößerung des objektseitigen Abbildes und einem Abstande von 30 cm zwischen Einstellungsebene und Eintrittspupille muß sich sein beobachtendes Auge 4,5 m senkrecht vor der Mitte des Auffangschirmes befinden. Auf die Hilfsmittel, die den anderen Zuschauern vorgeschlagen werden können, soll später eingegangen werden.

b) Die Projektion von Diapositiven (Glasbildern). Älter als die episkopische Vorführung ist die Projektion von Glasbildern (auch diaskopische Projektion oder Projektion mit durchfallendem Licht genannt). Das dabei benutzte Instrument geht als Laterna magica auf die Mitte des 17. Jahrhunderts zurück, wo es von dem gelehrten Jesuiten A. Kircher gebraucht wurde. Schon oben war darauf hingewiesen worden, daß sich das an Halbtönen reiche Photogramm nicht sonderlich zur Projektion im auffallenden Lichte eignet. Desto mehr aber paßt es für durchfallendes Licht, da seine Halbtöne hier als Abstufungen der Transparenz zur Geltung kommen, und die Anwendung durchfallenden

Lichts eine ungemein viel größere Helligkeit zu erreichen gestattet. Es wird sich daher häufig herausstellen, daß die episkopische Projektion durch die Projektion von Diapositiven zu ersetzen ist, die durch photographische Aufnahmen von dem interessierenden Objekt erhalten wurden. Der einzige Nachteil eines solchen Verfahrens liegt in der vorläufig noch bestehenden Schwierigkeit treuer Farbenwiedergabe. Wo es sich aber nur um die Darstellung von Helligkeitsunterschieden handelt, da ist das erwähnte Verfahren umsomehr überlegen, je größer die dem Episkop darzubietenden Objekte sind. Für viele wird auch der gewaltige Preis hindernd wirken, der sich ergibt, wenn die Episkope für die Vorführung großer Objekte eingerichtet werden sollen.

Der Grund für die größere Helligkeit der Projektion mit durchfallendem Licht liegt hauptsächlich darin, daß die bei der episkopischen Projektion unumgängliche diffuse Strahlung des Objekts hier vermieden wird. Kann man die vom Sammelsystem aufgenommenen Strahlen der Lichtquelle so zur Beleuchtung des Objekts verwenden, daß sie alle in die Eintrittspupille des Projektionssystems gelangen, so wird ein großer Verlust erspart werden, und es wird möglich sein, die Glasbilder außerordentlich viel stärker zu vergrößern. Die Umsetzung der auf dem Schirm erzielten Beleuchtungsstärke in diffuse Strahlung ist zwar nicht zu vermeiden, wirkt hier aber auch nicht schädlicher als bei der so sehr viel lichtschwächeren episkopischen Projektion.

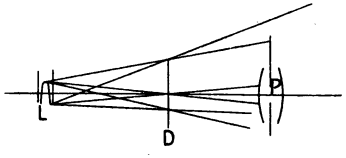



Fig. 39. Ein Schema für die unzweckmäßige Beleuchtung des Diapositivs.

Nur ein kleiner Teil des Diapositivs *D* sendet die von der Lichtquelle *L* ausgehenden Strahlen in die Eintrittspupille *P* des Projektionssystems.

Eine ausreichende Durchleuchtung des Diapositivs läßt sich aber nicht dadurch erreichen, daß man einfach eine Lichtquelle (etwa Gasglühlicht) hinter das Diapositiv stellt. Man sieht aus Fig. 39 ohne weiteres, daß dann das meiste Licht von der Eintrittspupille des Projektionssystems gar nicht aufgenommen wird. Bei den hier angenommenen Verhältnissen würde nur ein kleines Gebiet um die Mitte des Diapositivs hell erscheinen. Sollte das für das ganze Diapositiv gelten, so müßte sich das durchfallende Licht von jedem Punkte des Diapositivs in einem Kegel ausbreiten, dessen Basis an den Ort der Eintrittspupille *P* des Projektionssystems

fiele. Ist die Basis größer als die Eintrittspupille, so schneidet diese alle über sie hinausgehenden Strahlen ab, ist sie ihr gleich, so wirkt das Projektionssystem genau wie ein photographisches Objektiv derselben Öffnung einem diffus leuchtenden Objekt gegenüber, und ist sie kleiner, so wirkt die Basis ihrerseits wie eine Verengerung der Blende des Projektionssystems. In jedem Falle aber wird dieses System mit demselben Strahlengange benutzt, für den es berechnet worden ist. Als Lichtquellen kommen namentlich in Betracht Drummondsches Kalklicht, Auersches Gasglühlicht und elektrisches Bogenlicht.

Die Einrichtung, durch die das durchfallende Licht die im vorangehenden geforderte Richtung erhält, muß für sich behandelt werden; es ist das

c) Der Beleuchtungsapparat oder Kondensor.[1]) Seine einfachste Form (Fig. 40) ist die einer einfachen Linse, deren Durchmesser die Diagonale des Diapositivs an Größe noch übertrifft. Bildet man mit dieser Linse die Lichtquelle so ab, daß sie dem Orte nach mit der Eintrittspupille des Projektionsobjektivs zusammenfällt, so sind die oben erhobenen Forderungen erfüllt. Denn stellt man ein Diapositiv möglichst nahe an die letzte Kondensorfläche, so kann man sich jeden Punkt des Glasbildes als die Spitze eines Strahlenkegels denken, dessen Intensität durch die dort bestehende Transparenz bestimmt ist, während die Basis des Kegels in der Ebene der Eintrittspupille liegt, die je nach der Größe des Bildes der Lichtquelle ausgefüllt ist oder nicht. Der bildseitige Öffnungswinkel $u'$ des Kondensors ist so groß zu wählen, daß er der objektseitigen Hauptstrahlneigung $w$ des Projektionssystems mindestens gleichkommt.

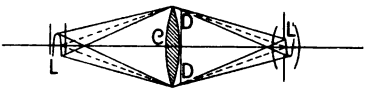



Fig. 40. Ein Schema für den richtig regulierten Strahlengang in einem Kondensor einfachster Art.
*L* Lichtquelle, *L'* ihr vom Kondensor *C* in der Eintrittspupille des Projektionssystems entworfenes Bild, *D D* Diapositiv.

1) Es ist das sprachlich eine unschöne Bildung, da das aus dem Englischen entlehnte Wort eigentlich Kondenser heißen müßte. Aber auch die Auffassung, die zu dieser Bezeichnung „Verdichter" geführt hat, ist irrig. Das Licht wird durchaus nicht verdichtet, eher verdünnt, und nur die Beleuchtungsstärke wird erhöht. Indessen hat E. Abbe selbst eingesehen, daß sich der von ihm vorgeschlagene Ersatz Illuminator „Erleuchter" nicht einführen ließ.

Wenn man heute für diese Kondensoren keine einfachen Linsen mehr wählt, wie man das in der Kindheit der Projektionsapparate tat, so liegt das hauptsächlich daran, daß man zu sehr starken Linsenkrümmungen und damit zu sehr großen sphärischen Abweichungen kommen würde. In einem häufig vorkommenden Typus werden zwei Plankonvexlinsen verwandt, die einander ihre Krümmungen zukehren (Fig. 41). Noch besser erfüllen ihren Zweck dreifache Kondensoren, bei denen ein Zweilinsenteil die Lichtquelle in großer Entfernung abbildet, während die fast parallelen Strahlen schließlich durch eine Plankonvexlinse passend gewählter Stärke in der Eintrittspupille des Projektionssystems vereinigt werden (Fig. 42). Der Zwischenraum zwischen dem Zwei- und dem Einlinsenteile wird zweckmäßig benutzt, um eine Wasserkammer einzuschalten, deren parallele Grenzflächen an dem Strahlengange nichts ändern, die aber einen großen Teil der Wärmestrahlen ab-

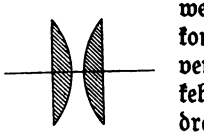


Fig. 41. Ein Kondensor verbesserter Konstruktion.

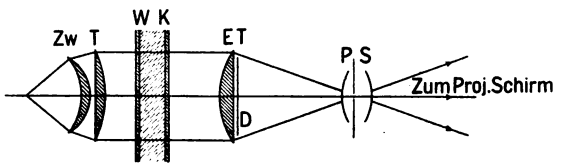



Fig. 42. Das Schema des Strahlenganges bei der Projektion mit durchfallendem Licht in einem dreiteiligen Kondensor.
*Zw T* Zweilinsenteil, *WK* Wasserkammer, *ET* Einlinsenteil, *D* Diapositiv, *PS* Projektionssystem.

sorbiert. Häufig empfiehlt es sich, in dieser Wasserkammer stets kaltes Wasser zirkulieren zu lassen.

Einige Worte seien noch hinzugefügt, um den bei chromatischen Kondensoren auftretenden roten Rand des Projektionsfeldes zu erklären. Verfolgt man einen weißen Strahl mit der größtmöglichen Eintrittsneigung von der Mitte der Lichtquelle durch den als einfache Linse angenommenen Kondensor, so wird er gleich bei der ersten Brechung in ein farbiges Büschel zerlegt, von dem hier nur die

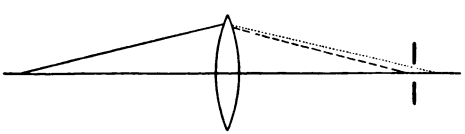


Fig. 43. Ein Schema für die Entstehung des roten Randes am Projektionsfelde.
— weißer, einfallender, — — blauer, austretender ... roter, austretender Grenzstrahl.

äußersten (roten und blauen) Strahlen angedeutet sein mögen. Es tritt also aus dem Kondensor das nach der endlich geöffneten Eintrittspupille des Projektionssystems gerichtete farbige Büschel aus, und zwar ist der rote Strahl mit der größeren Austrittshöhe schwächer, der blaue mit der kleineren stärker gegen die Achse geneigt. Wo man nun auch das Diapositiv zwischen dem Kondensor und dem Projektionssystem anbringt, es wird am äußersten Rande einen roten Saum haben, weil dort blaues Licht fehlt. In geringeren Achsenabständen ist die Farbe weiß, weil sich da die verschiedenfarbigen zu kleineren Eintrittsneigungen gehörigen Strahlen mischen. Damit nun die beschriebene Farbenerscheinung bei einer Vorführung nicht stört, muß der Linsendurchmesser des Kondensors die Diagonale des Glasbildes noch übertreffen.

Setzt man also ein Diapositiv voraus, dessen ganze Fläche so von weißem Lichte durchleuchtet ist, daß von jedem seiner Punkte als Spitze ein Strahlenkegel ausgeht, dessen Basis das Bild der Lichtquelle am Orte der Eintrittspupille bildet, so wird das Projektionssystem mit dem Strahlengange benutzt, für den es berechnet worden ist. Damit ist aber die Strahlenbegrenzung und die Verwirklichung der Abbildung wieder auf das beim photographischen Objektiv gesagte zurückgeführt.

Eine solche Regelung des Strahlenganges ist auch bei den eigentlichen photographischen Verfahren notwendig, wenn es sich darum handelt, Objekte stark zu vergrößern. Nimmt man z. B. eine 50fache Vergrößerung an, so ist die Beleuchtungsstärke auf der Bildseite in dem unerreichbaren Idealfalle doch nur der 2500. Teil der objektseitigen, und man muß diese durch geeignete Beleuchtungsvorrichtungen — gegebenenfalls durch Kondensoren — so steigern, daß die Belichtungszeit nicht gar zu ausgedehnt wird. Unumgänglich nötig werden solche Kondensoren für photographische Aufnahmen dann, wenn es sich um die Anfertigung von Vergrößerungen mit Mikroskopobjektiven handelt. Genaueres kann darüber erst angegeben werden, wenn die Theorie der Mikroskope überhaupt dargestellt worden ist.

d) Die Änderung der Perspektive für Zuschauer auf ungünstigen Plätzen. In der weitaus größten Zahl der Fälle handelt es sich bei der diaskopischen Projektion um Photogramme räumlicher Objekte (Landschafts-, Architekturbilder, Aufnahmen von Innenräumen u. ä.), in denen ziemlich große Tiefenunterschiede vorkommen. Das Projektionssystem entwirft nun von dem durch

das photographische Verfahren gelieferten bildseitigen Abbild, dem Diapositiv, eine stark — 30 bis 60fach — vergrößerte Darstellung, in der die Perspektive ungeändert geblieben ist. Bei einer Vorführung eines mittels eines Objektivs von $f = 12$ cm aufgenommenen Glasbildes würde also der richtige Betrachtungsabstand $30 \times 12$ cm bis $60 \times 12$ cm d. h. 3,6 m bis 7,2 m betragen. Augenfällig ist hier ein bequemes Mittel dafür gegeben, Photogramme mit einem richtigen Betrachtungsabstande vorzuführen, der normalen Augen die Akkommodation gestattet. Man hat sich diese Möglichkeit insofern aber in übertriebener Weise zunutze gemacht, als man solche Vorführungen für eine zu große Zahl von Zuschauern einrichtete. Die notwendige Folge ist, da streng genommen nur eine Person die Projektion richtig sehen kann, die, daß alle näher sitzenden eine zu geringe Tiefenausdehnung erhalten, alle auf entfernteren Plätzen eine übertriebene, und dabei ist noch von den Fälschungen ganz abgesehen, die durch eine seitliche Abweichung des beobachtenden Auges hervorgerufen werden. Der Änderung der Tiefenausdehnung könnte man durch passende Änderung der Gesichtswinkel entgegenwirken: zu fern sitzende Personen müßten durch Ferngläser entsprechender Vergrößerung, zu nahe sitzende durch umgekehrt benutzte Ferngläser das projizierte Bild betrachten. Alles dies gilt bei einer Betrachtung der Projektionsbilder mit einem Auge. Daß die Abweichung von dieser Forderung — natürlich benutzen die Zuschauer in überwiegender Mehrzahl beide Augen — nicht mehr auffällt, liegt sowohl an der ziemlich großen Entfernung des Projektionsschirms, besonders aber auch an der großen Bedeutung, die die Erfahrung für die Benutzung der vom Gesichtssinne gelieferten Eindrücke hat.

Die soeben geschilderten Fälschungen der Perspektive fallen nun aber nicht immer gleich störend auf. Auch bei sonst geeigneten Objekten, wie Gruppen und Straßenszenen, werden sie von unbefangenen Zuschauern meistens nur bemerkt, wenn ihre Plätze besonders ungünstig sind. Ist man aber erst einmal darauf aufmerksam geworden, so bemerkt man die Änderung der räumlichen Gliederung schon bei verhältnismäßig geringen Abweichungen vom richtigen Beobachtungsorte.

e) Die kinematographische Projektion. Die im vorigen Abschnitte erwähnten kinematographischen oder Reihenaufnahmen werden mittels des Kinematographen vorgeführt. Der optische Teil dieses Apparats besteht aus Kondensor und Projektions-

system. Die mechanische Einrichtung muß so getroffen werden, daß die einzelnen Bilder nur in dem Augenblick von Strahlen durchsetzt werden, wo sie an dem richtigen Orte stehen, so daß sie stets an dieselbe Stelle des Auffangschirms geworfen werden. Während der Wechselung herrscht Dunkelheit. Daß ein solcher, häufig eintretender Wechsel zwischen hell und dunkel nicht als starkes Flimmern empfunden wird, liegt an der Eigentümlichkeit des Menschenauges, einen Lichteindruck länger festzuhalten, als er dauert. Wie eine von der Hand geschwungene Kohle einen ganzen feurigen Kreis zu bilden scheint, so hält das Auge das erste Reihenbild noch während der Wechselpause fest und gibt es erst beim Erscheinen des zweiten auf. Man glaubt tatsächlich Bewegungen in Straßenszenen und Vorgänge aller Art sich abspielen zu sehen.

f) Die verschiedenen Methoden der stereoskopischen Projektion. Obwohl bei Projektionsvorführungen die Tiefendeutung in der Regel sehr wirksam ist, so hat man doch schon früh versucht, auch noch die Tiefenwahrnehmung eine Rolle spielen zu lassen. Es geschieht das nach dem S. 30 unter dem Auge gesagten dadurch, daß man jedem Auge ein verschiedenes Bild darbietet. Man hat dazu im Laufe der Zeit sehr verschiedene Mittel verwendet, die, nach bestimmten Gesichtspunkten geordnet, hier ganz kurz besprochen sein mögen.

Man hat die beiden Bilder gleichzeitig nebeneinander auf den Schirm geworfen, und sie dann durch zwei je vor ein Auge gebrachte geeignete Prismen- oder Spiegelkombinationen so betrachtet, daß sich ein stereoskopischer Eindruck ergab. (Die Methoden der räumlichen Trennung von D. Brewster und H. W. Dove.)

Man hat die beiden Bilder rasch nacheinander längere Zeit hindurch auf etwa dieselbe Stelle des Schirmes entworfen und durch eine vor dem Beobachter befindliche synchron wirkende Blendung das rechte Halbbild immer nur dem rechten, das linke nur dem linken Auge sichtbar werden lassen. Die Vereinigung zum körperlichen Eindrucke ist darum möglich, weil das Auge den Lichteindruck noch bewahrt, wenn auch das Bild schon verschwunden ist. (Methode der zeitlichen Trennung von J. Ch. d'Almeida.)

Man hat die beiden Bilder in verschiedenen Farben (z. B. rot und grün) übereinander projiziert und erhält bei der Betrachtung durch grün-rote Brillen den stereoskopischen Eindruck. Die beiden

Möglichkeiten sind verwirklicht worden, daß die Brillengläser die entgegengesetzte Farbe haben (Methode von W. Rollmann) und die gleiche wie die entsprechenden Halbbilder (Methode von J. Ch. d'Almeida). Die erste Methode ist nach dem Vorgange von L. Ducos du Hauron auch in den von dem Deutschen Verlage herausgegebenen plastischen Weltbildern für stereoskopische Buchillustration verwandt worden.

Schließlich sondert man auch die beiden Bilder nach J. Anderton noch durch die Verschiedenheit des Polarisationszustandes.[1])

Die stereoskopische Projektion hat in der Praxis keine große Anwendung gefunden. Es sei daher auch nicht weiter von den Tiefenänderungen gesprochen, die selbstverständlich hier auftreten müssen, wenn ein Beschauer seinen Platz ändert, oder wenn gleichzeitig mehrere Beschauer in Betracht kommen.

## B. Die Instrumente zu subjektivem Gebrauche.

Der Hauptzweck der hier zu besprechenden Instrumente ist der, die betrachteten Gegenstände dem Auge vergrößert, d. h. mit mehr Einzelheiten vorzuführen, und das geschieht, indem der Gesichtswinkel vergrößert wird, unter dem sie sich ohne das Instrument dem Auge darbieten. Hierher gehören namentlich die dem eigentlichen Studium dienenden Instrumente, das Mikroskop und das Fernrohr. Außerdem aber müssen auch noch Vorkehrungen besprochen werden, die nicht der Vergrößerung dienen, und zwar sind dabei zunächst die Brillen zu nennen, sodann aber auch die orientierenden Instrumente, bei denen es in erster Linie auf die bloße Vorführung sonst nicht sichtbarer Objekte ankommt. Zu diesen gehören Instrumente zu medizinischem (Kystoskope, Gastroskope) und zu militärischem Gebrauch (Periskope für Unterseeboote).

Die Instrumente zu subjektivem Gebrauche haben mancherlei Gemeinsames, das hier im voraus behandelt werden möge.

Die Brechkraft. Da das Auge bei entspannter Akkommodation die besten Bilder gibt, so läßt man optische Instrumente zu subjektivem Gebrauche zweckmäßig ihre Bilder im Unendlichen

1) Wegen der Bedeutung des hier nicht auseinanderzusetzenden Begriffs sehe man in L. Graetz, das Licht und die Farben, S. 124—133 (Nr. 17 dieser Sammlung).

entwerfen. Handelt es sich dabei um Objekte in endlicher Entfernung, so erhält man durch eine einfache Umkehrung des Strahlenganges von Fig. 5 auf S. 4 die folgende Beziehung für die **Brechkraft** $D$ des Instruments (Fig. 44)

$$8) \qquad \frac{\operatorname{tg} w'}{y} = \frac{1}{f'} = D.$$

Die Einheit der Brechkraft $D$ ist die **Dioptrie** (dptr) und zwar ist dafür

$$f' = 1\ m$$

zu setzen.

Beachtet man, daß das Objekt $y$ ohne Instrument aus einer Entfernung $l$ (etwa im Nahepunkt) betrachtet wird, deren Größe (s. S. 21) selbst bei Normalsichtigen mit dem Alter schwankt, so ergibt sich seine scheinbare Größe zu

$$9) \qquad \operatorname{tg} w^* = \frac{y}{l}.$$

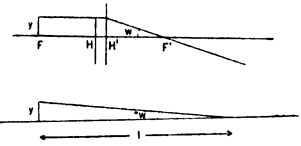



Fig. 44. Zur Ableitung der Vergrößerungszahl $N$.

Man erhält leicht die von dem Instrument gewährte **Vergrößerungszahl** $N$

$$N = \operatorname{tg} w' : \operatorname{tg} w^*$$

und durch Benutzung von 8) und 9)

$$10) \qquad N = Dl.$$

$N$ ist also unter diesen Umständen abhängig von dem Abstande $l$, auf den man längere Zeit akkommodieren kann. Es ist mithin der Nutzen, den ein vergrößerndes Instrument Kurzsichtigen gewährt, geringer als der Normalsichtigen geleistete Dienst. Man hat sich nun auf einen Normalwert von $l = 25$ cm, die **mittlere Nahepunktsentfernung** normaler Augen, geeinigt, und man erhält unter Berücksichtigung des Wertes von $D$ nach 8) die Vergrößerungszahl $N$ eines optischen Instruments von der Brennweite $f'$ durch Division seiner hinteren Brennweite in 25 cm

$$N = \frac{25\ \text{cm}}{f'}.$$

Die Lage der weit entfernten Bilder wird bei den Instrumenten zu subjektivem Gebrauche noch insofern genauer bestimmt werden müssen, als es sich um die Entscheidung der Frage handelt, ob die Bilder **aufrecht** oder **umgekehrt** erscheinen. Man muß

dazu beachten, daß bei der natürlichen Wahrnehmung aufrechter Objekte die Hauptstrahlen die Achse einmal (im Augendrehpunkte oder in der Pupillenmitte) schneiden, so daß auf der Netzhaut ein umgekehrtes Bild zustande kommt. Wird nun zwischen Objekt und Auge ein optisches Instrument gebracht, so erscheint das Bild dann aufrecht, wenn der Richtungssinn der in das Auge gelangenden Hauptstrahlen von gleicher Art ist wie beim natürlichen Sehen, mit anderen Worten, wenn die Hauptstrahlen zwischen der Eintritts- und der Austrittspupille des Instruments die Achse gar nicht (oder eine gerade Anzahl von Malen) geschnitten haben; bei einem Schnittpunkte (oder einer ungeraden Anzahl solcher) erscheint das Bild umgekehrt. Faßt man alles zusammen und berücksichtigt, daß beim natürlichen Sehen ein Schnittpunkt vorhanden ist, so kommt man zu dem Schlusse, daß Objekte aufrecht oder umgekehrt erscheinen, je nachdem die von ihnen ausgehenden Hauptstrahlen beim Wege zur Netzhaut die Achsenrichtung eine ungerade oder eine gerade Anzahl von Malen schneiden.

### 1. Die Brillen und die Lesegläser.

Das Auge ist aber nun nicht bei allen Menschen normal, wie es in der vorausgegangenen Behandlung angenommen worden ist. Abweichungen davon kommen sogar sehr zahlreich vor, und sie werden unschädlich gemacht durch Brillen (Ableitung des Wortes von Beryll und von parilium-Paar.) Es sind das Instrumente, die geeignet sind, dauernd vor dem Auge getragen zu werden, und die meistens aus einem einzigen Glase bestehen. Es sei zunächst noch angenommen, daß es sich um achsensymmetrische Augen handele, so sind in erster Linie zu betrachten:

a) die korrigierenden Brillen für ametrope Augen. Bei den ametropen Augen handelt es sich wie auf S. 16/17 erwähnt meistens um eine anomale Länge der Augenachse (Achsen-Ametropie), der zufolge der Fernpunkt des Auges in endlicher Entfernung liegt und zwar als reeller Punkt vor dem Auge bei kurzsichtigen (myopischen), als virtueller Punkt hinter dem Auge bei übersichtigen (hypermetropischen) Augen. Das korrigierende Brillenglas hat nun die Aufgabe, den fernen Punkt im Fernpunkt des ametropen Auges abzubilden, und zwar geschieht das durch zerstreuende Gläser für Myopen und durch sammelnde Gläser für Hypermetropen. Der reziproke Wert der Bildweite eines solchen Glases im hinteren Scheitel ergibt in Di-

optrien gemessen die Nummer des Glases, die in Fällen der Kurzsichtigkeit in den Grenzen

— 20 dptr bis zu 0 dptr

und in Fällen der Übersichtigkeit in den Grenzen

0 dptr bis zu + 8 dptr

liegen kann. Früher hat man die Gläser nicht nach Dioptrien sondern nach der angenähert in Zollen angegebenen Brennweite des Glases abgestuft. Man verwandelt für die Praxis genügend genau die einen Zahlen in die andern durch Division in 40. Also

— 5 dptr entspricht der alten Nummer — 8

und

alte Nummer + 13 entspricht + 3 dptr.

Handelt es sich um einen Patienten jugendlichen Alters mit normalem Akkommodationsvermögen, so wird ihm sein Fernglas auch für die näheren Objekte — beim Lesen und Arbeiten — ausreichen (Vollkorrektion der Ametropie).

Von Wichtigkeit für den Gebrauch ist es, daß die Fehler schiefer Büschel, namentlich der Astigmatismus, aufgehoben werden und zwar für einen ideellen Blendenort, der genügend weit hinter der letzten Fläche des Brillenglases liegt, daß man den Augendrehpunkt mit ihm zusammenfallen lassen kann; 25 mm ist ein guter Wert. Man nennt solche Gläser punktuell abbildende. Im allgemeinen gibt es zwei Glasformen, die als Ostwaltsche (schwächer durchgebogene) und als Wollastonsche (stärker durchgebogene) unterschieden werden. Die ältere Form der periskopischen Brillengläser bietet zwar dem Fabrikanten größere, dem Träger aber im allgemeinen geringere Vorteile als die eben erwähnten punktuell abbildenden Gläser, weil bei ihnen im allgemeinen eine wirkliche Aufhebung des Astigmatismus schiefer Büschel nicht erreicht werden konnte.

b) Die Presbyopenbrillen. Im Laufe der Zeit verliert das Auge wie auf S. 21 angegeben die Fähigkeit, ausreichend zu akkommodieren, und der Ametrop bedarf dann zweier Brillen, nämlich außer der korrigierenden oder Fernbrille noch einer Presbyopenbrille für einen vom Arzte vorzuschreibenden Arbeitsabstand. Dieser Abstand wird in der Regel so groß gewählt werden (25 — 30 cm), daß noch ein bequemer Gebrauch beider Augen beim Lesen möglich ist. Die Brechkraft der Lese-

brille ist bei Hypermetropen numerisch größer, bei Myopen höheren Grades numerisch kleiner als die der korrigierenden Fernbrille. Bei Myopen niederen Grades kann der Fall eintreten, daß das Naheglas die Brechkraft 0 erhalten müßte, weil der Nahepunkt im richtigen Leseabstand liegt, oder daß es sich sogar um ein schwaches Konvexglas handelt.

Ist der Presbyop früher emmetrop gewesen, und liegt jetzt sein Nahepunkt im Unendlichen, so kann es sich um eine Lupenbrille handeln, die die Lese- oder Schreibfläche in unendlicher Entfernung abbildet.

Für beide Arten, Presbyopen- sowohl als Lupenbrillen, lassen sich wenigstens für die mittleren Werte der Brechkraft zwei Formen, die Ostwaltsche von geringerer, die Wollastonsche von stärkerer Durchbiegung angeben, für die der Astigmatismus der schiefen Büschel für einen 25 mm hinter der letzten Brillenfläche liegenden Blendenort aufgehoben ist. Man kann dann, dem Früheren analog, von punktuell abbildenden Presbyopen- und Lupenbrillen sprechen.

Verbindet man an einem und demselben Brillenglase zwei Brennweiten so, daß der obere Teil des Glases dem Sehen in die Ferne, der untere dem Sehen in die Nähe dient, so erhält man ein Doppelfokusglas (auch wohl Bifokalglas), eine Einrichtung, die auf Benjamin Franklin und das Jahr 1785 zurückgeht. Die Mittel, das zu tun, sind sehr mannigfach. Es kamen oder kommen vor neben der einfachen mechanischen Verbindung durch die Fassung, wie sie B. Franklin wählte, noch das Verkitten eines zweiten kleineren Glases mit der Trägerlinse, besonders aber das Anschleifen einer dritten Fläche an einem Teil der Vorder- oder Hinterfläche und das Einschmelzen einer Linse von höherer Brechung in die Masse der Trägerlinse. Die letzte Möglichkeit ist namentlich in Amerika ausgebildet worden.

c) Die Brillen für Aphakische. Beim grauen Star trübt sich die Substanz der Kristallinse des Auges und es tritt Erblindung ein. Man kann aber in diesem Falle dem Licht dadurch wieder Zutritt zur Netzhaut verschaffen, daß man die undurchsichtig gewordene Kristallinse entfernt („den Star stechen"). Ein solches linsenloses Auge nennt man ein aphakisches. Es wird verständlich sein, daß nach diesem Verlust einer Sammelwirkung ein früher emmetrop gewesenes Auge nun die Strahlen

nicht mehr auf der Netzhaut zu vereinigen vermag sondern (infolge einer Krümmungsametropie) hypermetropisch geworden ist. In der Tat bedarf ein solches Auge für das Sehen in die Ferne einer in 12 mm vor dem Hornhautscheitel angebrachten korrigierenden Sammellinse von etwa 11 dptr, für das Lesen einer Linse von etwa 14 dptr. Bei Hypermetropen sind die entsprechenden Zahlen beide größer, bei Myopen mittleren Grades beide kleiner. Bei extremen Graden der Myopie, in denen man gelegentlich die Kristallinse entfernt hat (Myopieoperation), um das vorhandene Sehvermögen besser auszunützen, kann es sich um ganz schwache Sammelgläser, ja um Zerstreuungslinsen handeln, die dem Staroperierten das scharfe Sehen ermöglichen.

Da die Brennweite des aus Brille und linsenlosem Auge zusammengesetzten Systems größer ist als die des brillenbewaffneten Vollauges, so wird nach gelungener Staroperation das Vermögen der Netzhaut besser ausgenutzt, d. h. die Patienten haben nach der Operation ein höheres Sehvermögen als vorher.

Die Herstellung punktuell abbildender Starbrillen scheint infolge der hohen Brechkraft, die in den meisten Fällen nötig ist, unmöglich zu sein, und sie ist es auch, wenn man an der Forderung von Kugelflächen als Grenzflächen festhält. Führt man indessen anstelle einer sphärischen eine zweckmäßig gewählte asphärische Fläche (s. S. 12) ein, so ist eine Hebung des Astigmatismus schiefer Büschel gleichzeitig mit einer Verringerung der Verzeichnung wohl möglich. Solche Gläser sollen nach dem Ophthalmologen, der zuerst ihre Herstellung forderte, Gullstrandsche Stargläser heißen, sie werden von der Jenaer Firma C. Zeiß hergestellt.

d) Die Fernrohrbrillen. Die soeben erwähnte Myopieoperation wird nicht von allen Ärzten empfohlen, weil ihnen die dem hochgradig kurzsichtigen Auge dabei drohenden Gefahren zu groß erscheinen. Da aber von solchen Patienten die gewöhnlichen dünnen Brillen als Fernbrillen häufig nicht vertragen werden, so war es lange Zeit hindurch schwierig, hier wirklich zu helfen. Die alte Idee, dem hochgradig kurzsichtigen Auge durch eine Art holländischen Fernrohrs eine Erleichterung zu verschaffen, wurde in jüngster Zeit auf eine Anregung des Straßburger Ophthalmologen E. Hertel durch die Firma C. Zeiß aufgenommen. Und zwar stellte man sich in Jena von vornherein die Aufgabe, punktuell abbildende Fernrohrbrillen herzustellen. Es

gelang dies recht befriedigend, ohne daß die der Anlage nach kompliziertere Konstruktion ein unerträglich hohes Gewicht erhalten hätte. Im Interesse eines großen Gesichtsfeldes empfiehlt es sich, in der Steigerung der Bildgröße nur etwa den Betrag zu erreichen, der bei der Operation zu erwarten ist, also etwa bei der 1,3fachen Vergrößerung des Netzhautbildes zu bleiben. Das objektseitige Gesichtsfeld ist dann immerhin ansehnlich (etwa $45^0$) und — wenn auch kleiner als bei einem entsprechend dünnen Zerstreuungsglase — groß genug, um bei ständigem Gebrauche keine Schwierigkeiten auftreten zu lassen. Für bestimmte Fälle (Theater, Gemäldeausstellungen), wo das Gesichtsfeld kleiner sein kann, läßt sich die Vergrößerung wesentlich steigern, und solche Konstruktionen sind namentlich dann nötig, wenn die Beschaffenheit der Netzhaut sehr unbefriedigend ist. Wie es scheint, werden namentlich für Presbyopenbrillen häufig hohe Vergrößerungen verlangt, weil die Patienten vielfach eine ähnliche Deutlichkeit der Wahrnehmung fordern, wie sie sie erhalten, wenn sie die Lesefläche ihrem unbewaffneten Auge nähern. Da diese Annäherung in solchen Fällen bis auf 7 bis 5 cm erfolgt, so kann man ermessen, daß die Vergrößerungszahl der Presbyopenbrille stark gesteigert werden muß, um bei gewöhnlicher Leseentfernung wohl nicht die gleiche aber immerhin doch eine vergleichbare Sehleistung zu ermöglichen. Dementsprechend muß natürlich die Ausdehnung des objektseitigen Gesichtsfeldes abnehmen.

e) Die astigmatischen Brillen. Ist aber das Auge nicht achsensymmetrisch, so vereinigt es auch die von Achsenpunkten ausgehenden Paraxialstrahlen nicht in einem Punkte sondern in zwei Brennlinien (siehe S. 48 Fig. 31), es ist selbst nahe der Achse astigmatisch (punktlos). Um eine deutliche Abbildung auf der Netzhaut des ruhenden Auges herbeizuführen, muß ein zweckmäßig gewähltes zweiseitig symmetrisches System (etwa eine Linse mit einer zylindrischen und einer sphärischen Fläche) vor das Auge gebracht werden. Es führt in die achsennahen Büschel astigmatische Fehler von gleicher Größe aber entgegengesetztem Betrage ein, die dann durch den Fehler des Auges gerade aufgehoben werden. Für die Korrektion des Astigmatismus bedarf es der Kenntnis seines Betrages in Dioptrien und der Richtung der Zylinderachse.

Diese Korrektion bezieht sich nur auf die in der Nachbarschaft der Achse des Brillenglases liegenden Objekte. Dreht sich nun

das astigmatische Auge beim Blicken um seinen Drehpunkt, so wird im allgemeinen durch eine solche sphäro-zylindrische Linse der Astigmatismus des Auges für Objekte in andren Richtungen als der der Brillenachse nicht gehoben werden. Dazu bedarf es einer zweckmäßigen Durchbiegung, wobei dann aber in der Regel aus einer sphäro-zylindrischen eine sphäro-torische Linse wird. Unter einer torischen oder Wulstfläche versteht man eine Fläche, die durch die Rotation eines Kreisbogens um eine in seiner Ebene liegende aber nicht durch den Kreismittelpunkt gehende Achse entsteht.

Der Astigmatismus ist manchem Auge angeboren, und liegt dann in der Regel unter 4 dptr. Er tritt jedoch als „postoperativer" Astigmatismus auch nach Staroperationen auf und kann dabei sogar noch höhere Werte annehmen. Um ihn zu korrigieren, muß also auch bei den Gullstrandschen Linsen die sphärische Fläche durch eine zweckmäßig gewählte torische ersetzt werden, und es ergeben sich dann für astigmatische aphakische Augen die Gullstrandschen Linsen als asphäro-torische.

Prismatische Brillen zum Ausgleich falscher Augenstellungen bei schielenden Patienten seien nur eben erwähnt.

f) Die Brillengestelle. Die Brillen werden verhältnismäßig selten für ein einzelnes Auge benutzt; man nennt sie dann Monokel. In der Regel werden sie für beide Augen verwandt, und zwar kommen neben der in der Hand gehaltenen Lorgnette hauptsächlich der Kneifer oder Klemmer (Pincenez) und die eigentliche Brille vor. Bei der Fassung der Brillengläser sollte im Falle der Fernbrillen, namentlich der punktuell abbildenden, darauf gesehen werden, daß die Achsen der beiden Linsen die Entfernung der Augendrehpunkte des Brillenträgers haben. Bei Nahbrillen wird man die Linsenscheitel zweckmäßig einander soweit nähern, daß die Verbindungslinien des mittleren Objektpunkts und der Drehungszentren durch die Linsenscheitel gehen.

Außerdem sollen die Brillengläser etwa 12 mm vom Hornhautscheitel abstehen, was bei tiefliegenden oder vortretenden Augen eine besondere Gestaltung des Brillengestells (vorgeschriebene Kröpfung des Steges) erfordert. Hat man diese Entfernung herbeigeführt, so fallen auch die Störungen fort, die die Augenwimpern durch Anschlagen an das Brillenglas hervorrufen können.

Den Brillen stehen die Lesegläser so nahe, daß die Grenze schwer zu ziehen ist. Besonders deutlich wird das bei dem in der

letzten Hälfte des 18. und in der ersten des 19. Jahrhunderts anscheinend sehr verbreiteten **Guckkasten**. Seine optischen Teile bestehen aus einem mit einem ebenen Spiegel fest verbundenen Lese- oder Brillenglase, zweckmäßig einer punktuell abbildenden Lupenbrille, in dessen Brennebene eine Zeichnung gelegt wurde. Dieses Instrument steht dem oben besprochenen Zeichenapparat oder der Camera obscura sehr nahe. Um die Bilder bequem beleuchten zu können und die Bildfehler des Brillenglases nicht zu deutlich werden zu lassen, hat man sich meistens auf kleine Gesichtswinkel beschränkt, indem man nur schwache Betrachtungslinsen für ein verhältnismäßig kleines Bildformat wählte. (Fig. 45).

Diese an sich wirksame Einrichtung kam im Laufe des 19. Jahrhunderts außer Gebrauch. Man benutzte dann als Lesegläser gewöhnlich einfache große Bikonvexlinsen von 10—15 cm Brennweite, um ganz schwache Vergrößerungen etwas ausgedehnter Objekte beim Gebrauche beider Augen zu erreichen. Sie sind in der Regel ohne Farbenkorrektion, und gegen den Rand des Sehfeldes tritt Verzeichnung und im Zusammenhang damit eine Krümmung des beidäugig wahrgenommenen Bildfeldes auf, der man durch Trennung des Systems in zwei plankonvexe Linsen (aplanatische Lesegläser) entgegenzuwirken sucht, die einander ihre Konvexitäten zukehren. Lesegläser mit sehr großem Durchmesser, von 8—10 cm (wohl auch **Panoramalinsen** genannt) benutzt man auch seit den sechziger Jahren im **Graphoskop** (Bildgucker) — manchmal auch **Pantoskop** genannt — zur beidäugigen Betrachtung von Photogrammen. Man kann nicht sagen, daß dieses Instrument dem alten Guckkasten mit seiner Beschränkung auf den Gebrauch eines Auges überlegen ist, und ferner war dort doch wenigstens etwas Rücksicht darauf genommen, daß nicht nur das Bild, sondern auch das betrachtende Auge zum Beobachtungssystem zentrisch zu stehen kam.

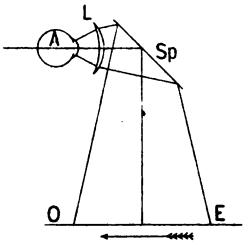



Fig. 45. Ein Schema für den Guckkasten.

*A* Auge, *L* schwaches Brillenglas, *Sp* Planspiegel, *OE* Objektebene. Die zu betrachtenden Zeichnungen sind so auf die Objektebene zu legen, daß ihre oberen Teile dem Beschauer zugekehrt sind. Infolge der Spiegelung an *Sp* ist im Bilde rechts und links vertauscht.

Eine sehr populär gewordene Weiterbildung erfuhr der Guckkasten in dem um das Jahr 1851 in den Handel gebrachten

Brewsterschen Stereoskop (s. S. 30). Eine einfache Linse von 15—18 cm Brennweite wurde in zwei gleiche Halblinsen zerschnitten. Jedes der beiden Augen wurde mit einer solchen Halblinse ausgerüstet und zwar waren dabei die Schnittflächen nach außen (schläfenwärts) gekehrt. Die Linsenhälften wurden also exzentrisch benutzt, und es ergab sich neben der Vergrößerungs- auch eine prismatische Wirkung. Das hatte die erwünschte Folge, daß man größere Halbbilder (8,2 : 8,2 cm) zu einem Stereogramm mit einander vereinigen konnte, als es ohne die prismatische Wirkung möglich gewesen wäre. Die Korrektion schiefer Büschel war aber durchaus nicht herbeigeführt, namentlich nicht die Hebung der Verzeichnung; diese aber wurde darum recht störend, weil sich dieser Fehler bei beidäugigen Instrumenten in eine falsche Tiefe umsetzt.

## 2. Die Vergrößerungsgläser.

Stärkere Vergrößerungen werden in der Regel mit einem Aufwande größerer Mittel hergestellt Die Entfernung zwischen der nächsten Linsenfläche und dem vorderen Brennpunkt, in den das Objekt gebracht werden muß, wenn die Strahlen auf der Bildseite parallel verlaufen sollen, bezeichnet man als den freien Objektabstand. Bei Systemen kurzer Brennweite wird die Benutzung wesentlich bequemer, wenn sie einen verhältnismäßig großen freien Objektabstand haben.

Mit Rücksicht auf die Strahlenbegrenzung ist es von Wichtigkeit, ob die Lage der Austrittspupille gestattet, den Augendrehpunkt mit ihr zusammenfallen zu lassen oder nicht. Ist das unmöglich, so kann man das optische Instrument im direkten Sehen nur so benutzen, daß man durch die Austrittspupille wie durch ein Schlüsselloch hindurch mit bewegtem Kopfe und bewegtem Auge beobachtet. Ist aber jene Möglichkeit vorgesehen, so bildet das Auge, dessen Drehpunkt in den Achsenort der Austrittspupille zu bringen ist, dann mit dem Instrument ein zentrisches System.

Hinsichtlich der Strahlungsvermittlung muß darauf geachtet werden, ob die Austrittspupille des Instruments kleiner ist als die Augenpupille bei der Beobachtung oder nicht. Im ersten Falle ist offenbar ein sehr merkbarer Lichtverlust vorhanden, wenn man zum Vergleich die Helligkeit heranzieht, die dem auf andere Weise

— etwa mechanisch — vergrößerten Objekt eigen sein würde, wenn es mit bloßem Auge betrachtet würde.

Auf die Verwirklichung der Abbildung und die Abbildungsfehler wird bei der nun folgenden Besprechung der einzelnen Ausführungsformen hingewiesen werden. Es seien zunächst die Vergrößerungsgläser behandelt, bei denen auf die Lage des Augendrehpunktes keine Rücksicht genommen worden ist.

a) Die einfachen Mikroskope und die Lupen. Der Unterschied der beiden Formen liegt im wesentlichen in der Vergrößerung. Bei den einfachen Mikroskopen soll nur ein kleines Feld stark vergrößert werden; bei den Lupen läßt man in der Forderung der Vergrößerung nach, wünscht aber, ein größeres Feld zu erzielen.

Im ersten Falle verzichtet man häufig auf die chromatische Korrektion. Die älteste Form war wohl die eines Vollkügelchens aus Glas, wobei die Umgebung des Äquators durch die Fassung abgeblendet wurde. W. H. Wollaston führte verschiedene Verbesserungen ein. Einmal ersetzte er die Vollkugel durch mehrere dicht hintereinander gestellte Plankonvexlinsen, die ihre Planflächen dem Objekt zukehrten (Wollastonsche Dubletts und Tripletts), ferner verbesserte er (Fig. 46) die Vollkugel durch eine Metallblende, die er zwischen die beiden Halbkugeln stellte, während D. Brewster und nach ihm auch H. Coddington wieder auf die alte Vollkugel zurückgriffen, bei der die Blendung durch einen Einschliff erreicht wurde. — Um die für starke Vergrößerungen notwendigen kurzen Brennweiten zu erhalten, verkleinerte man zunächst den Ausführungsmaßstab mehr und mehr, um dann entweder mit D. Brewster zu kleinen Linsen aus hochbrechenden Edelsteinen zu greifen, wo infolge der hohen Brechung die Krümmungen geringer werden, oder eben eine aus zwei oder drei Linsen bestehende Konstruktion zu wählen. Die Bestandteile solcher Kombinationen hatten längere Brennweiten und ließen sich darum leichter und genauer ausführen. Außerdem bot diese Zusammensetzung mit ihren schwächeren Krümmungen der Einzellinse gegenüber den Vorteil geringerer sphärischer Aberration. Auf diese Weise konnte man Vergrößerungen bis zum Zwei-

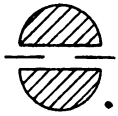


Fig. 46. Wollastonsche Lupe.

Fig. 47. Brewstersche (Stanhopesche) Lupe.

Das Auge des Beobachters ist über den Lupen zu denken.

hundertfachen noch mit Vorteil erreichen, mußte dabei allerdings auf Systembrennweiten von 1,25 mm heruntergehen. Eine abweichende Konstruktion der aus einem Glasstücke hergestellten einfachen Mikroskope zeigt die von D. Brewster konstruierte, aber als Stanhopesche bekannte Lupe, bei der die Objekte an der vom Auge abgewandten krummen Fläche angebracht werden müssen. Sie findet nicht selten Anwendung zur Vergrößerung von kleinen Photogrammen in Federhaltern, Nadelbüchsen usw. (Fig. 47).

Das Mittel, die Brechungen auf mehrere Flächen zu verteilen, wendete man zunächst auch an, als es sich darum handelte, ein weiteres Gesichtsfeld mit geringerer Vergrößerung abzubilden und damit den Typus der eigent-

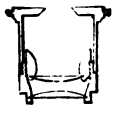


Fig. 48. Fraunhofersche Lupe.

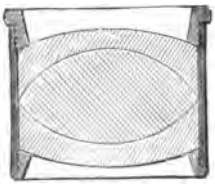


Fig. 49. Der Typus einer aplanatischen Lupe nach A. Steinheil.

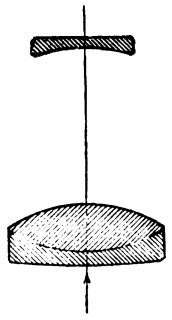


Fig. 50. Chevaliersche (Brückesche) Lupe mit großem freiem Objektabstande.

lichen Lupe zu schaffen. Solche aus zwei Einzellinsen bestehende Formen sind die Lupen von J. Fraunhofer. Höher stehen die achromatischen Lupen, so die aplanatischen, deren früheste Form auf A. Steinheil zurückgeführt wird. Um den Objektabstand zu steigern, hat Ch. Chevalier und unabhängig von ihm E. Brücke zu einer Kombination von Positiv- und Negativlinse gegriffen, wie sie bereits S. 54 beim photographischen Teleobjektiv besprochen worden ist. Kehrt man die Negativlinse dem Auge zu, so ist nach der dort angegebenen Zeichnung klar, daß der vordere Brennpunkt verhältnismäßig weit von der Vorderfläche des Positivgliedes entfernt ist, daß sich also ein großer freier Objektabstand ergibt. Allerdings kann dieser Typus auch schon den zusammengesetzten Mikroskopen zugezählt werden. Noch stärkere Lupen, wie sie etwa für Insektensammler und Botaniker angefertigt werden, stehen den schwächeren Mikroskopobjektiven nach Art der aufgewendeten Mittel und der erforderlichen Sorgfalt der Ausführung nahe.

Gute Lupen können zur Projektion von Übersichtsbildern mikroskopischer Präparate, also auch zu objektivem Gebrauche verwandt werden, wenn ihre relative Öffnung einen großen Wert hat. Ähnlichen Zwecken dienten in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Sonnenmikroskope (so genannt nach der damals allein verfügbaren, ganz intensiven Lichtquelle). Für stärkere Vergrößerungen des projizierten Bildes verwendet man das zusammengesetzte Mikroskop (s. S. 103).

b) Die für das direkte Sehen bestimmten Lupen. Bei diesen ist das Auge stets in Verbindung mit der Lupe zu denken, eine Forderung, die meistens zur Folge hat, daß es möglichst nahe an die Lupe gebracht wird, da nur dann das vorgeschriebene Gesichtsfeld erreicht wird. Eine der frühesten und auch noch sehr primitiven Formen ist die Uhrmacherlupe, bei der die Fassung durch Einkneifen an eine bestimmte Stelle gebracht wird, so daß sich die Lupe dicht vor dem Auge befindet.

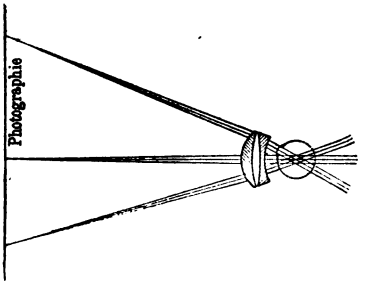



Fig. 51. Ein schematischer Strahlengang vom Photogramm durch die Verantlupe zum Auge. Das Auge ist etwas gehoben dargestellt.

Eine Verbesserung dieser Instrumente wurde erst möglich, als der Ophthalmologe A. Gullstrand aus Upsala auf die Notwendigkeit hinwies, die Lupen für das direkte Sehen zu korrigieren, d. h. für den Augendrehpunkt als Ort der Austrittspupille der Lupe die Verzeichnung und den Astigmatismus aufzuheben, damit, wie auch das Auge gedreht werden möge, immer ein anastigmatisches Strahlenbüschel von der richtigen (nicht durch Verzeichnung gefälschten) Neigung $w'$ in das Auge eintrete. Die endgültige Berechnung solcher Systeme gelang in der optischen Werkstätte von C. Zeiß, und sie wurden im Herbst 1903 als Verantlupen auf den Markt gebracht (Fig. 51).

c) Der Verant. Ebenfalls auf die Anregung A. Gullstrands hin wurde der Verant (etwa Richtiggucker), ein Betrachtungsapparat für das Sehen mit einem Auge, konstruiert. Es war bereits auf S. 26 darauf hingewiesen worden, daß eine perspektivische Zeichnung nur dann für das direkte Sehen den richtigen Eindruck vermitteln kann, wenn der Augendrehpunkt des beobachtenden

Einzelauges in ihr perspektivisches Zentrum gebracht wird. Ist die Perspektive durch ein photographisches Objektiv erhalten worden, so ist dieses Zentrum von der Ebene des Positivbildes um die Äquivalentbrennweite entfernt, sobald es sich bei der Aufnahme um ein weit entferntes objektseitiges Abbild gehandelt hat. Bei den kleinen, mit modernen Objektiven ausgerüsteten Handapparaten kommen nun in der Regel nur Brennweiten in Betracht, die zwischen

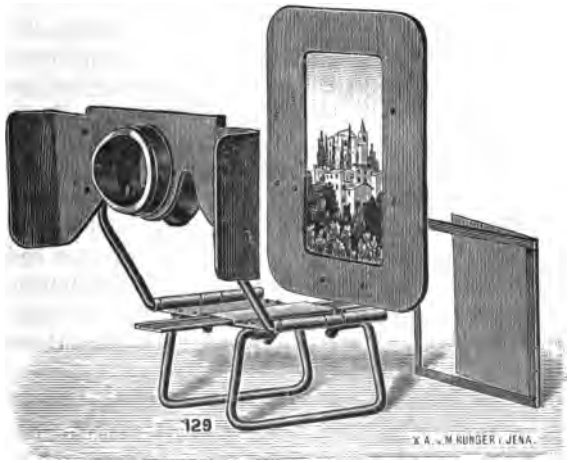



Fig. 52. Der Verant auf einer Unterlage aufgestellt mit einem Blechrähmchen zur Verwendung unaufgezogener Photogramme.

10 und 15 cm liegen. Die mit solchen Objektiven aufgenommenen Bilder sind wegen der Akkommodationsschwierigkeiten von normalen Augen meistens nicht so zu betrachten, daß sie denselben Eindruck hervorrufen, wie die aufgenommenen Objekte vom Orte der Aufnahme aus. Wendet man dagegen eine Verantlinse von der Brennweite des Aufnahmeobjektivs als Betrachtungssystem an, so erhält man ein in weiter Ferne liegendes, der Aufnahme und damit auch dem objektseitigen Abbilde vollständig ähnliches Bild, das, soweit die Elemente der Tiefenvorstellung in Frage kommen, die gleichen Anhaltspunkte für das direkte Sehen liefert, wie das Objekt selbst, wenn es vom Aufnahmeorte aus betrachtet wird. Bei der Ausarbeitung des Apparats ist darauf Rücksicht genommen worden, daß das Photogramm durch den Ausschnitt eines breiten Rahmens wie

durch ein Fenster hindurch beobachtet wird, und daß der eigentümlich gestaltete Schirm zwar die Benutzung des rechten oder des linken Auges gestattet, das nicht beobachtende Auge aber immer verdeckt. Mit diesem Instrument ist für Photogramme die Wirkungsweise des alten Guckkastens aufgenommen worden, und zwar für den ziemlich großen Gesichtswinkel von etwa 60 Grad.

Mit den für das Sehen mit bewegtem Auge bestimmten Lupen können auch binokulare Instrumente ausgerüstet werden. Die Stereoskope wurden schon auf S. 30 und 75 erwähnt. Eine Verbesserung der Bildbeschaffenheit ermöglichen die auf Verzeichnung und Astigmatismus schiefer Büschel korrigierten Verantlinsen auch für die beidäugigen Instrumente. Sie sind bei der Konstruktion des Doppelverantens benutzt worden, und man hat bei diesem Instrument auf die exzentrische Benutzung der Betrachtungslinsen ganz verzichtet. Man ist daher wegen der geringen Größe des mittleren Augenabstandes (s. S. 29) auf eine kleine, nicht über 5 cm hinausgehende, freie Bildbreite angewiesen, erhält aber doch einen größeren Bildwinkel als bei den alten Brewsterschen Instrumenten, wenn man Verantlinsen von 7 cm Brennweite anwendet. Deren Vergrößerung (von $25 : 7 = 3^1/_2$) halten gute Papierkopien noch aus.

Ein anderes Bedürfnis hat man mit den binokularen Lupen zu befriedigen gesucht: hier will man die Lupenvergrößerung beiden Augen dienstbar machen und dadurch das Tiefenunterscheidungsvermögen für kleine Objekte steigern.

### 3. Die Mikroskope.

In dem Mikroskop (nach Goethe Kleinsehglas) liegt für diese Schrift zum ersten Male ein zusammengesetztes optisches Instrument vor; es ist der dem Objekt zugekehrte Teil, das Objektiv, von dem Okular zu trennen, dem Teile, der nach dem Auge des Beobachters gewandt ist. Wenn ganz allgemein gefragt wird, warum man nicht die mit dem einfachen Mikroskop erreichbaren Vergrößerungen weiter und weiter zu steigern suchte, sondern zu dieser Zerlegung griff, so gibt es solcher Gründe mehrere. Es sei hier nur auf die wichtigsten hingewiesen. Die Brennweiten der Einzelbestandteile, namentlich auch des Objektivs, sind bei vorgeschriebener Vergrößerung des Bildes länger, als es die des einfachen Mikroskops sein könnte, die Ausführung ist mithin leichter und sicherer, und auch der freie Objektabstand ist beim

zusammengesetzten Mikroskop größer als der des einfachen von gleicher Vergrößerung. Die Zusammensetzung erlaubt innerhalb gewisser Grenzen einen Wechsel der Vergrößerung durch Benutzung sei es verschiedener Okulare an dem gleichen Objektiv oder verschiedener Objektive an demselben Okular. Und schließlich wird in dioptrischer Hinsicht eine Steigerung der Leistung dadurch erreicht, daß eine Arbeitsteilung zwischen Objektiv und Okular eintritt; näheres darüber kann erst bei der Strahlenbegrenzung angegeben werden. Für den mit dieser Schrift verfolgten Zweck wird es genügen, an der alten Betrachtungsweise festzuhalten, wobei dem Okular die Aufgabe zufällt, das Objektivbild zu vergrößern. Die von E. Abbe eingeführte Zerlegung, derzufolge das Mikroskop aufzufassen ist als die Verbindung einer Lupe mit einem astronomischen Fernrohr, kann hier nur erwähnt werden. Das Objekt befindet sich bei der mikroskopischen Beobachtung in der Regel zwischen zwei Glasplättchen, dem Objektträger von etwa 1,5 mm und dem Deckglase von 0,15 bis 0,20 mm Dicke. Das Objekt kann sich in Luft oder in einer Flüssigkeit, wie Wasser, Glyzerin usw. befinden, oder es kann auch in ein zunächst flüssiges, später erstarrendes Harz, wie Kanadabalsam, eingebettet sein.

a) Handelt es sich jetzt um die Lagen- und Größenbeziehung der vom Mikroskop entworfenen Bilder, so muß ein Unterschied gemacht werden, je nachdem schwache oder starke Mikroskopobjektive in Betracht kommen. Die schwachen Systeme stehen, wie schon mehrfach hervorgehoben wurde, den starken Lupen oder den für mittlere Vergrößerungen verwandten photographischen Objektiven sehr nahe, und man kann mit ihnen ein vergrößertes Bild $y_1'$ des Objekts $y_1$ in dem Abstande $\Delta$ vom hinteren Brennpunkte des Objektivs entwerfen (Fig. 53), wobei die Vergrößerung $N$ nach S. 34 und 35 gegeben ist durch

$$\frac{y_1'}{y_1} = N = \frac{\Delta}{f_1}.$$

Die Größe $\Delta$ wird im Gegensatz zu der Länge des Mikroskoprohrs, des Tubus (vgl. S. 101), als optische Tubuslänge bezeichnet, und bei schwachen Systemen kann sie und mit ihr auch $N$ in gewissen Grenzen schwanken. Bei starken Objektiven gibt es aber nur eine Tubuslänge $\Delta$, da es, wie sich bei der Besprechung der Verwirklichung der Abbildung (S. 94) zeigen wird,

nur für einen einzigen Objekt- und Bildabstand gelingt, eine scharfe Abbildung mit großen Öffnungswinkeln herbeizuführen. Bei vielen starken Systemen findet sich eine Abbildung mit verschiedenen Grenzmedien, ein Fall, der schon beim optischen System des Auges vorgekommen war. Es besteht aber darin ein Unterschied, daß hier das von Luft verschiedene Mittel auf der Objektseite liegt. Solche Systeme, die aus verschiedenen, erst später verständlich werdenden Gründen in der Regel nur in kurzen Brennweiten hergestellt werden, nennt man Immersions- (Eintauch-) Systeme oder kurz Immersionen. Je nach der zwischen Deckglas und vorderste stets plane Fläche des Objektivs gebrachten Flüssigkeit unterscheidet man die Wasser- und die Öl-immersionen von den Trockensystemen. Hat das Öl angenähert den gleichen Brechungsexponenten wie das Deckglas

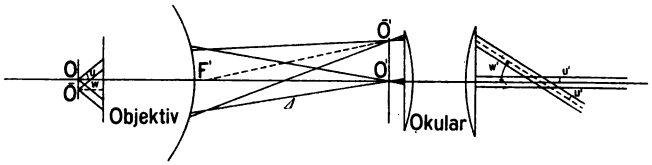



Fig. 53. Ein Schema für den Strahlengang im Mikroskop.
Läßt das Objektiv gleichweit geöffnete ($u$) Strahlenbüschel von mittleren ($O$) und seitlichen ($\bar{O}$) Objektpunkten zu, so liegt die Eintrittspupille in weiter Ferne, und die Neigung ($w$) der Hauptstrahlen auf der Objektseite ist verschwindend klein. Das Objektivbild $O'\,\bar{O}'$ hat schon geringere Öffnungswinkel, aber eine endliche Neigung der Hauptstrahlen, die ihrerseits aus der mit dem hinteren Brennpunkte zusammenfallenden Mitte der Austrittspupille kommen. Durch das Okular wird das Objektivbild im Unendlichen (also mit verschwindenden Öffnungswinkeln $u' = 0$) indessen unter endlichem Gesichtswinkel $w'$ abgebildet.

und die Frontlinse, so spricht man von homogenen Immersionen.

Berücksichtigt man nur normale oder korrigierte (s. S. 68) Augen im Zustande entspannter Akkommodation (S. 20), und soll also das Mikroskop ein weit entferntes Bild entwerfen, so muß die vordere Okularbrennebene mit dem $N$-fach vergrößerten Objektivbilde $y_1'$ zusammenfallen. Damit ergibt sich die gewöhnliche Definition der optischen Tubuslänge $\Delta$ als des Abstandes zwischen dem hinteren Objektiv- und dem vorderen Okularbrennpunkt. Es wird also die scheinbare Größe des Schlußbildes $\operatorname{tg} w'$ nach S. 67 Gl. 8 durch

$$\frac{\operatorname{tg} w'}{y_1'} = \frac{1}{f_2'},$$

bestimmt, und man gelangt durch

$$\frac{\operatorname{tg} w'}{N y_1} = \frac{1}{f_2'}$$

leicht zu der Brechkraft $D$ des ganzen Mikroskops

$$11) \qquad D = \frac{\operatorname{tg} w'}{y_1} = \frac{\Delta}{f_1'} \cdot \frac{1}{f_2'}.$$

Die Vergrößerungszahl $N$ ist dann auch für das Mikroskop in gewohnter Weise (S. 67 Gl. 10) gegeben durch $N = l D$.

b) Die Strahlenbegrenzung ist beim Mikroskop insofern einfacher zu erledigen als bei den Projektionssystemen, weil es sich in der Regel nur um sehr dünne Objekte handelt. Nur bei den schwachen, nach Art photographischer Objektive wirkenden Systemen kann man von Perspektive und Tiefenschärfe reden. Diese beiden Eigentümlichkeiten des Bildes lassen sich hier einfach behandeln, weil für das Objektiv allein dieselben Überlegungen gültig sind, die für die vergrößernden Projektionssysteme angestellt worden waren. Ganz ähnlich wie bei der episkopischen Projektion körperlich ausgedehnter Objekte erscheint auch hier als Objektivbild das vergrößerte objektseitige Abbild. Das Okular vergrößert es weiter und bietet es dem Auge unter neuen Gesichtswinkeln $w'$ dar, die die objektseitigen übertreffen und auch zu den auf S. 26 besprochenen Änderungen der Perspektive führen müssen. Im allgemeinen aber kommen beim Mikroskop außerordentlich dünne Objekte vor, und durch die sehr großen Öffnungswinkel des Mikroskopobjektivs wird die Tiefe auf einen sehr kleinen Betrag eingeschränkt, weil die nicht eingestellten Teile der durchscheinenden Objekte mit so großen Zerstreuungskreisen abgebildet werden, daß man sie überhaupt nicht wahrnimmt. E. Abbe hat diesen Sachverhalt gelegentlich mit den Worten beschrieben, bei einem Mikroskop mit großen Öffnungswinkeln lege man durch das Präparat „optische Querschnitte". Faßt man noch einmal alles zusammen, so handelt es sich bei stärkeren Mikroskopvergrößerungen um ein sehr kleines, ungemein dünnes Objektelement, das mit weitgeöffneten Büscheln stark vergrößert abgebildet wird, so daß schon die Büschel am Objektivbild ziemlich spitz werden. Dieses Bild wird nun vom Okular

noch weiter vergrößert, nämlich im Unendlichen abgebildet, die bildseitigen Öffnungswinkel also auf Null gebracht; dagegen werden aber die Gesichtswinkel von der verschwindenden Größe $w$ beträchtlich (auf $w'$) gesteigert.

c) Eine sehr wichtige Rolle spielt beim Mikroskop die Strahlungsvermittlung. Bereits in der ganz allgemeinen Besprechung dieser Verhältnisse (auf Seite 11) war darauf hingewiesen worden, daß die ganze Strahlenmenge zu bemessen sei nach dem Quadrat des Sinus des Öffnungswinkels $u$. Das gilt für die Strahlung in Luft, und nach ebendieser Regel läßt sich die Strahlung aller Trockensysteme behandeln, es bleiben also noch die Immersionssysteme zu erledigen. Um die hier vorliegenden, etwas verwickelten Verhältnisse leichter übersehen zu können, sei an eine Aufgabe erinnert, die nach Kenntnis des Brechungsgesetzes gestellt werden kann. Was sieht ein unter klarem, ruhigem Wasser befindlicher Taucher vom Sternenhimmel? Die Antwort lautet: er sieht den ganzen Sternenhimmel, aber zusammengedrängt auf einen Winkelraum von $97\frac{1}{2}^0$ (Fig. 54). Bei Neigungswinkeln im Wasser, die über $48\frac{3}{4}^0$ betragen, tritt totale Reflexion ein, und der Meeresgrund selber wird widergespiegelt. Wenn also einem solchen Wasserwinkel von $48\frac{3}{4}^0$ ein Luftwinkel von $90^0$ entspricht, und in beiden die gleiche Strahlenmenge enthalten ist, so müssen offenbar in einem größeren Wasserwinkel Strahlen vorhanden sein, die unter diesen Verhältnissen nicht in Luft austreten können. Und so ist es auch wirklich. Die Anzahl der von einem leuchtenden Punkte in einem dichteren Mittel ausgesandten Strahlen ist, wie in dem angeführten Beispiele für Neigungen unter $48\frac{3}{4}^0$ aus dem Brechungsgesetze folgt, zu bemessen einmal nach dem Quadrat des Sinus des Öffnungswinkels $u$ (s. S. 11) und ferner nach dem Werte $n$ des Brechungsexponenten. Man erhält also für ein Trockensystem $(\sin u)^2$ und für ein Immersionssystem $(n \sin u)^2$. Nach dem Vorgange von E. Abbe sei das Produkt $A = n \sin u$ mit dem Ausdrucke numerische Apertur bezeichnet. Bei der in der Figur angenommenen ebenen Grenzfläche kann aus dem dichteren

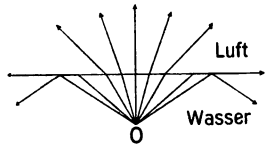



Fig. 54. Das Taucherexperiment. Von dem ganzen, von $O$ im Wasser ausgesandten Strahlenbüschel kann bei einer ebenen Grenzfläche in Luft nur der Teil austreten, der innerhalb eines Kegelwinkels von $48\frac{3}{4}^0$ um die Achse liegt. Weiter geöffnete Strahlen werden an der Grenzebene total reflektiert.

Mittel kein Strahl austreten, dessen Apertur größer ist als 1, doch ist man in der Praxis natürlich nicht an ebene Grenzflächen gebunden. Beschreibt man beispielsweise um den im dichteren Mittel angenommenen strahlenden Punkt eine Kugel, so können aus einer solchen Grenzfläche (s. Fig. 55) auch Strahlen austreten, die einen sehr großen Winkel mit der mittleren Richtung einschließen. Auf solche Weise — wie später gezeigt werden wird, haben die den Objekten nächsten Linsen, die Frontlinsen der Mikroskope, etwa diese Einrichtung — führen Immersionssysteme von einem im dichteren Mittel befindlichen Objektpunkt dem beobachtenden Auge eine größere Strahlenmenge zu, als das die Trockensysteme mit größter Öffnung vermögen. Denn während bei einem solchen wegen $n = 1$

$$A = \sin u \leqq 1$$

die numerische Apertur die Einheit nicht einmal erreichen kann, gelingt es bei einem Immersionssystem wegen

$$A = n \sin u \leqq n$$

dem Werte von $n$ nahe zu kommen. So führt man Wasserimmersionen aus ($n = 1{,}33$), wo $A = 1{,}25$ ist, und Ölimmersionen ($n = 1{,}51$) mit $A = 1{,}40$, ja sogar Monobromnaphthalinimmersionen ($n = 1{,}65$) mit $A = 1{,}60$. Bei den letzterwähnten entsteht eine Schwierigkeit durch die Forderung, daß zwischen dem leuchtenden Punkt und der gekrümmten Fläche der Frontlinse sich kein Medium von geringerer Brechung befinden darf. Es muß also Monobromnaphthalin auch als Einbettungsmedium für das Präparat verwendet werden. Da trifft es sich ungünstig, daß organische Präparate durch die chemische Wirkung dieses Einbettungsmittels zerstört werden würden. Man hat daher diese Systeme mit der höchsten Apertur im wesentlichen nur für die Untersuchung des Kieselpanzers verschiedener Diatomeenarten verwenden können.

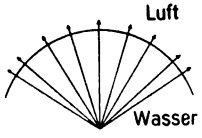



Fig. 55. Eine schematische Darstellung der Wirkung einer Frontlinse.

Das ganze vom strahlenden Punkt in Wasser ausgesandte Strahlenbüschel kann bei einer passend gewählten (kugeligen) Grenzfläche in Luft austreten.

d) Handelt es sich jetzt um die Verwirklichung der Abbildung, so ist es für die Theorie des Mikroskops notwendig, der Behandlung der Aberrationen einen Abschnitt vorangehen zu lassen, in dem auf die Natur des Lichtes als einer Wellenbewegung Be-

zug genommen wird. Bei den anderen Instrumenten lag dazu keine unumgängliche Notwendigkeit vor, denn deren Objekte hatten stets eine beträchtliche Ausdehnung gehabt. Bei dem Mikroskop aber kommen Objekte oder Objekteinzelheiten von der Größe der Wellenlänge des Lichtes vor, und in solchen Fällen lassen sich die Vereinfachungen der geometrischen Optik nicht mehr anwenden, sondern man muß dann auf die physikalische Lichttheorie[1]) zurückgehen.

Die geradlinigen Strahlen, die man sich von einer Lichtquelle nach allen Seiten ausgehend dachte, finden sich in der Wirklichkeit nicht, sie geben nur die Richtungen an, in denen sich die von dieser Lichtquelle erregte Wellenbewegung ausbreitet. Jeder Punkt in einer solchen Richtung kann als ein neues Erregungszentrum aufgefaßt werden. Treffen Wellenbewegungen, die von demselben Zentrum stammen, auf späteren Stellen ihrer Bahn zusammen, so können sie sich verstärken, also größere Helligkeit hervorbringen, oder sich schwächen, also geringere Helligkeit oder gar Dunkelheit entstehen lassen. Man nennt diese gegenseitige Beeinflussung Interferenz und spricht davon, daß zwei Strahlen (eigentlich die Wellenbewegungen in zwei Lichtrichtungen) miteinander interferieren.

Die Gesamtheit dieser Erscheinungen, bei denen man von der Voraussetzung der geometrischen Optik absieht, daß sich die voneinander unabhängigen Lichtstrahlen geradlinig fortpflanzen, bezeichnet man als Beugungserscheinungen, oder man spricht auch wegen der dabei auftretenden Spektralfarben von Beugungsspektren. Diese Beugungserscheinungen werden immer dann bemerkt, wenn die Objekte so klein sind, daß ihre Ausmaße mit der Wellenlänge des Lichtes verglichen werden können. Es sei hier nur an die farbigen Beugungserscheinungen erinnert, die man bei der Betrachtung einer Kerzenflamme durch einen schmalen Spalt oder besser durch ein feines Gitter wahrnimmt.[2])

Da es sich bei den Objekten des Mikroskops häufig um außerordentlich feine Einzelheiten handelt, so spielt die Beugung dabei eine sehr wichtige Rolle, denn das vom Beleuchtungsapparat des Mikroskops kommende Licht durchsetzt das Objekt genau so wie den Spalt in dem sogleich zu besprechenden einfachen Falle. Dieser

1) Genaueres findet sich bei L. Graetz, das Licht und die Farben. 3. Aufl. S. 53—87 (Nr. 17 dieser Sammlung).

2) L. Graetz, S. 82—83.

ganz einfache, aber doch in mancher Hinsicht sehr charakteristische Fall läßt sich an der der Graetzschen Darstellung entnommenen Fig. 56 schildern. Der mit Hilfe der Linse *L* durch ein ziemlich enges Lichtbüschel beleuchtete Spalt *Sp* (er kann auch durch eine Spaltreihe, ein Gitter, ersetzt werden) läßt bei *B* eine ziemlich stark in die Breite ausgedehnte Beugungserscheinung entstehen. Darin wechseln helle Stellen (Beleuchtungsmaxima) und dunkle (Minima) miteinander ab; hauptsächlich interessieren die Richtungen nach den Stellen der größten Lichtstärke oder den Beleuchtungsmaximis. Man unterscheidet sie als erste Maxima,

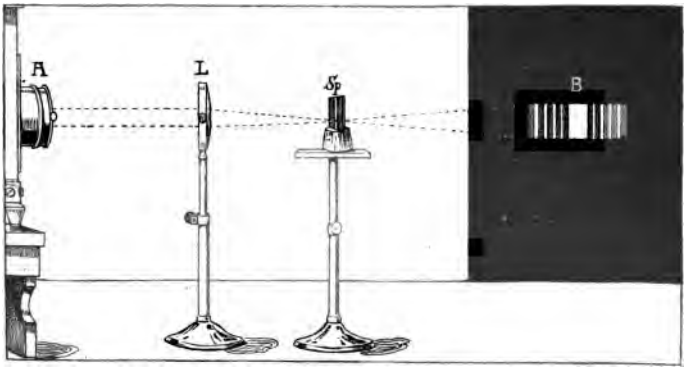



Fig. 56. Die Beugungserscheinungen beim Durchgange des Lichts durch einen engen Spalt.

zweite, dritte usw., von der direkten Fortsetzung des einfallenden Büschels, die in den folgenden Figuren 57 bis 61 durch 0 charakterisiert sein möge.

J. Fraunhofer hat eine Formel für den Winkelabstand $u$ des ersten Maximums von dem Beleuchtungsbüschel angegeben, wenn ein Gitter vorliegt, dessen Elemente um die Entfernung $d$ voneinander abstehen. Sie lautet:

$$12) \qquad \sin u = \frac{\lambda}{nd},$$

dabei bedeutet $\lambda$ die Wellenlänge des bei der Abbildung verwendeten Lichtes. Eine entsprechende Ausdehnung der dann nicht mehr scharf abgegrenzte Maxima zeigenden Beugungserscheinung ergibt sich auch bei kleinen Strukturen unregelmäßiger Form.

Hält man an dem Beispiele des Gitters fest, läßt aber das Licht in ein anderes Mittel (z. B. Öl $n_D = 1{,}5$) austreten, so zeigt die Fig. 58, daß dasselbe Gitter nun ein ganz anderes Beugungsspektrum entwirft und zwar ein viel engeres, so daß in demselben Winkelraume wie oben nicht drei, sondern vier Maxima liegen. Der Grund dafür ist der, daß nach S. 12 die Wellenlänge $\lambda$ in dem Verhältnis von 1,5 zu 1 kürzer geworden ist. Genau dasselbe Beugungsspektrum würde sich in Luft ergeben haben, wenn man ein tief violettes Beleuchtungsbüschel von

$$\lambda = 0{,}589\ \mu / 1{,}5 = 0{,}393\ \mu$$

angewandt hätte.

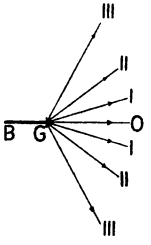



Fig. 57. Die Beugungserscheinungen eines engen, gelben Lichtbüschels $BG$ an dem Gitter $G$ mit einer Streifenbreite $d = 0{,}002\,\text{mm} = 2\,\mu$ in Luft: Die ersten, zweiten, dritten Maxima haben von der $O$-Richtung Abstände von etwa 17, 36, 62°.

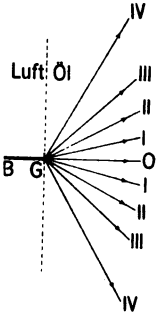



Fig. 58. Die Beugungserscheinungen eines engen, gelben Lichtbüschels $BG$ an dem Gitter $G$ mit einer Streifenbreite $d = 0{,}002\,\text{mm} = 2\,\mu$ in Öl: Die ersten, zweiten, dritten, vierten (fünften) Maxima haben von der $O$-Richtung Abstände von etwa $11^1/_2$, 23, 36, 52, (79)°.

Es ist nun eines der großen Verdienste E. Abbes, diese aus der Fraunhoferschen Theorie folgenden Tatsachen zur Erklärung der Bilderzeugung im Mikroskop herangezogen zu haben. Er wies dabei zunächst darauf hin, daß, damit überhaupt ein Bild des Gitters, d. h. eine abwechselnd helle und dunkle Streifung vom richtigen Abstande zustande komme, mindestens zwei aufeinanderfolgende Maxima des Beugungsspektrums dieses Gitters in das Mikroskopobjektiv eintreten müßten. Aus der Fraunhoferschen Formel 12) erhält man sofort einen Ausdruck für die kleinste Streifenbreite

$$13) \qquad d = \frac{\lambda}{n \sin u},$$

die ein Mikroskopobjektiv der numerischen Apertur $n \sin u$ zu erkennen gestattet, wenn das Beleuchtungsbüschel mit seiner Achsenrichtung zusammenfällt (bei gerader Beleuchtung). Man bezeichnet diese Größe auch als die Grenze der Auflösung des

*Mikroskopobjektivs bei gerader Beleuchtung.* Sieht man nun näher zu, was dabei vorgeht, so erkennt man leicht, daß das Objektiv die Fraunhofersche Beugungserscheinung bis zum ersten Maximum aufnimmt und diesen Teil in seiner hinteren Brennebene (die nach der Unterschrift zu Fig. 53 mit der Austrittspupille zusammenfällt), also sehr nahe an der letzten Objektivfläche, abbildet. Dieses Bild kann leicht beobachtet werden, wenn man das Okular entfernt und in den Tubus hineinsieht. Bei einer engen Streifung erhält man beispielsweise die nebenstehende Figur 59. Dabei bedeutet der mittlere kleine Kreis (0) das in der Richtung des Beleuchtungsbüschels liegende Hauptmaximum, an das sich rechts und links die ersten (I) Maxima anschließen. Bei einer noch engeren Streifung stehen die beiden ersten Maxima sogar noch weiter von der Mitte ab, wie sich aus der Formel 12) ergibt, und es würde zu ihrer Aufnahme ein System größerer Apertur notwendig sein; doch kann man sich auch durch die schiefe Beleuchtung helfen, und mit einem Objektiv derselben Öffnung durch die in der Figur 60 angedeutete schiefe Richtung des Beleuchtungsbüschels doch noch wenigstens ein erstes Maximum nutzbar machen. Wie sich aus dieser Figur entnehmen läßt, kann durch eine Beleuchtung von äußerster Schiefe die Auflösungsfähigkeit eines Objektivs bestimmter Apertur etwa verdoppelt werden:

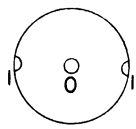



Fig. 59. Die in der hinteren Brennebene des Mikroskopobjektivs auftretende Beugungserscheinung einer bei gerader Beleuchtung eben noch aufgelösten Streifung.

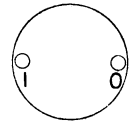



Fig. 60. Die in der hinteren Brennebene des Mikroskopobjektivs auftretende Beugungserscheinung einer bei schiefer Beleuchtung eben noch aufgelösten Streifung.

$$14) \qquad d = \frac{\lambda}{2A}.$$

Verhindert man (häufig durch die Anwendung von Blendungsscheiben) das in der Richtung des Beleuchtungsbüschels weitergehende Licht daran, in das Objektiv einzutreten, und erhält also bei der Beobachtung nur abgebeugtes Licht, so heben sich die beugenden Struktureinzelheiten hell vom dunkeln Hintergrunde ab. Man spricht alsdann von einer Dunkelfeldbeleuchtung. Diese Methode ist für den Nachweis vereinzelter kleinster Objekte besonders günstig, weil der Kontrast ganz allgemein ihr Vorhandensein erkennen läßt, selbst wenn ihre scheinbare Größe weit

unter der Grenze der angularen Sehschärfe bleiben sollte. Als Beispiele seien angeführt die einzelnen Regentropfen, die man bei schwachem Regen vor einem dunkeln Hintergrund auf ziemlich weite Entfernung fallen sieht, die Sonnenstäubchen, durch die sich ein Sonnenstrahl in einem sonst dunkeln Zimmer kenntlich macht, und schließlich die Fixsterne am Himmel. Die Form der Objekte kann man aber nicht erkennen, sondern nur ihr Vorhandensein, und zwar muß nach Seite 19 der scheinbare Abstand zweier solcher Objekte den Wert der angularen Sehschärfe mindestens erreichen, wenn sie nicht als ein einziges aufgefaßt werden sollen. Diese Dunkelfeldbeleuchtung hat H. Siedentopf in seinem Ultramikroskop zum Nachweise vereinzelter Teilchen ausgebildet, deren Dimensionen auf sehr kleine Bruchteile der Wellenlänge des Lichts (bis zu 0,004 $\mu$) herabgehen. Eine optische Abbildung solcher Objekte wird aber durch diese Einrichtung nicht geliefert.

Ist das Mikroskopobjektiv sphärisch und chromatisch gut korrigiert — und nur solche sollen hier betrachtet werden —, so vereinigen sich alle von dem Objektelement nach dem Fraunhoferschen Beugungsspektrum zielenden Richtungen schließlich wieder, von der in die hintere Brennebene fallenden Austrittspupille des Objektivs ausgehend, an dem auf der Bildseite konjugierten Flächenelement, und als Bild ergibt sich der Interferenzeffekt aller von der Austrittspupille ausgehenden Wellenzüge. Da ist nun außerordentlich wichtig, daß beim Mikroskop die bilderzeugende Ursache nicht wie bei gröberen Objekten das Objekt allein ist, sondern daß die Begrenzung der vom Objekt verursachten Beugungserscheinung durch die Öffnung des Mikroskopobjektivs von ausschlaggebender Bedeutung wird. Sobald ihre angulare Ausdehnung in dem Medium vor dem Objektiv größer ist als der Öffnungswinkel des Systems in eben diesem Mittel, kann das Beugungsspektrum nur zum Teil aufgenommen werden, und das zeigt sich in einer entsprechenden Beeinflussung des Bildes. Das Bild hört auf, objektähnlich zu sein, und entspricht nur dem wirksamen Teile der Beugungserscheinung; ein ganz anders beschaffenes Objekt, aus dessen Beugungserscheinung man einen mit dem ersten übereinstimmenden Teil herausblenden kann, ergibt ein diesem gleiches Bild. E. Abbe hat für diese Angabe die folgende experimentelle Bestätigung angegeben: Auf der Teilmaschine werden zwei Gitter hergestellt, deren eines, $c$, die doppelte Feinheit des anderen, $a$, besitzt. Die Beugungserscheinungen in den beiden

Austrittspupillen werden demnach so aussehen, wie es die nebenstehenden Figuren *b* und *d* zeigen. Blendet man nun aus *b* die beiden Maxima erster Ordnung ab, wie es *e* zeigt, so erhält man im Bilde tatsächlich ein Gitter doppelter Feinheit, ohne daß an dem gröberen, infolge seiner Herstellung genau bekannten Objekt irgend etwas geändert worden wäre.

Wenn also auf diese Weise die Grenze *d* des abgebildeten Details mit der Größe der Apertur *A* in einen Zusammenhang gebracht worden ist, so kann man ohne Schwierigkeit die Brechkraft bestimmen, die einem Mikroskop von bestimmter Apertur zweckmäßig eigen sein muß. Es sei an das angulare Maß der Sehschärfe erinnert, das auf S. 19 zu 1′ angenommen worden war.

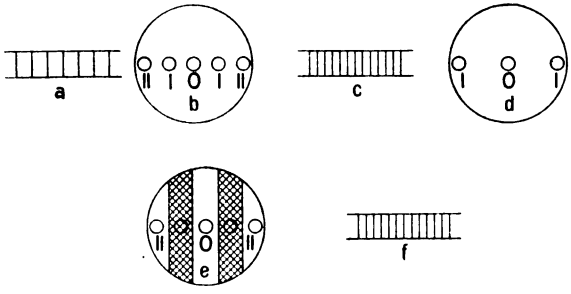



Fig. 61. Zur experimentellen Bestätigung der Abbeschen Theorie der Bilderzeugung im Mikroskop.

Berücksichtigt man, daß bei einer so kleinen Winkelausdehnung die Wahrnehmung zwar eben möglich ist, aber nicht bequem zu sein braucht, so wird es verständlich, daß man beim Mikroskop das wahrzunehmende Detail *d* unter einem Winkel *w′* abzubilden sucht, der zwischen 2 und 4 Winkelminuten liegt. Bei einer Beleuchtung mit schiefem Licht erhält man also als schematische Grenzen für die Brechkraft (s. S. 83) des ganzen Mikroskops, wenn eine bequeme Wahrnehmung der abgebildeten Einzelheiten erfolgen soll,

$$15) \qquad D_2 = \frac{\operatorname{tg} w'}{d} = \frac{2A \operatorname{tg} 2'}{\lambda} \text{ und } D_4 = \frac{2A \operatorname{tg} 4'}{\lambda}$$

und entsprechend für $l = 25$ cm

$$16) \qquad \mathfrak{N}_2 = \frac{2Al \operatorname{tg} 2'}{\lambda} \text{ und } \mathfrak{N}_4 = \frac{2Al \operatorname{tg} 4'}{\lambda}.$$

Setzt man für Beobachtungen bei Tageslicht $\lambda = 0{,}55\,\mu$, so erhält man nach E. Abbe die nachstehende Tabelle für die Grenzen der Vergrößerungszahlen $N_2$ und $N_4$ bei den verschiedenen Aperturen:

| $A = n \sin u$ | $d$ in $\mu$ | $N_2$ | $N_4$ |
|---|---|---|---|
| 0,10 | 2,75 | 53 | 106 |
| 0,30 | 0,92 | 159 | 317 |
| 0,60 | 0,46 | 317 | 635 |
| 0,90 | 0,31 | 476 | 952 |
| 1,20 | 0,23 | 635 | 1270 |
| 1,40 | 0,19 | 741 | 1481 |
| 1,60 | 0,17 | 847 | 1693 |

Bei der Zusammenstellung wird auffällig sein, wie niedrige Vergrößerungen sich nur ergeben, wenn man sich an die oben erläuterten Regeln hält. Ist die bei einem Mikroskop verwirklichte Vergrößerung beträchtlich kleiner als der nach der Tabelle seiner Apertur entsprechende $N_2$-Wert, so kann man das in dem Bilde enthaltene Detail schwer oder gar nicht sehen, weil es unter einem zu kleinen Sehwinkel $w'$ erscheint; ist sie, und das wird öfter vorkommen, größer als $N_4$, so sieht man kein weiteres Detail, weil eben keins in dem Bilde vorhanden ist; das Bild ist inhaltsleer. Die Zwecklosigkeit, die darin liegt, bloß die Vergrößerungen zu steigern, ist schon von J. Petzval hervorgehoben worden: „Deshalb informiert uns auch derjenige, welcher von einem neu erfundenen Mikroskop des Optikers N. Nachricht gibt und weiter gar nichts sagt, als wieviel millionenmal es vergrößere, weniger von den Eigenschaften des Instruments als von dem Umfange seiner Sachkenntnis."

Bei gleichbleibender Apertur ist die Steigerung der Vergrößerungszahl des Mikroskops mit einer Abnahme des Durchmessers der Austrittspupille verbunden; er beträgt bei $N_2$ etwa 1 mm und bei $N_4$ nur noch etwa 0,5 mm. Dies hat einmal einen großen Nachteil wegen der Dunkelheit des Bildes, worauf schon S. 75 hingewiesen worden war, und ferner werden infolge der Enge der Strahlenbüschel die unter dem Namen der „entoptischen Erscheinungen" bekannten Störungen um so schädlicher, die darauf zurückzuführen sind, daß in den Augenmedien etwa vorhandene Ungleichmäßigkeiten auf der Netzhaut Schatten werfen.

Über die Verteilung der Vergrößerung auf Objektiv und Okular gibt die physikalische Theorie der Bilderzeugung keinen Aufschluß,

sie ist von dieser Verteilung ganz unabhängig. Diese Aufgabe kann erst nach der nun folgenden Behandlung der Bildfehler im Objektiv erledigt werden.

e) Die Strahlenvereinigung im Mikroskopobjektiv. Nach den Auseinandersetzungen über die physikalische Theorie der Bilderzeugung im Mikroskop handelt es sich nunmehr darum, die Anforderungen an die Korrektion des wichtigsten Bestandteils, des Objektivs, in der Sprache der geometrischen Optik anzugeben.

Was die chromatische Korrektion angeht, so müssen zunächst die Schnittweiten zweier ausgewählter Farben, Rot und Blau nämlich, gleich sein, denn als Instrument zu subjektivem Gebrauche muß das Mikroskopobjektiv optisch korrigiert werden. Wenn nicht die Glaswahl geeignet erfolgt — und das ist erst seit der Eröffnung des Jenaer Glaswerks möglich —, so weichen die Schnittweiten der gelben und violetten Strahlen von denen der ausgewählten ab: es entsteht ein namentlich für Systeme von großer Öffnung schädliches sekundäres Spektrum. Ist ferner für eine mittlere, etwa die gelbe Farbe, die sphärische Korrektion herbeigeführt worden, so herrschen die gleichen Verhältnisse durchaus noch nicht für die anderen Farben, im Gegenteil pflegen dann die roten Strahlen eine mit wachsenden Öffnungswinkeln immer abnehmende, die blauen eine immer zunehmende Schnittweite zu erhalten; die sphärische Aberration ist also nach der Farbe verschieden, oder, wie E. Abbe es genannt hat, es besteht eine chromatische Differenz der sphärischen Aberration. Schließlich sei noch erwähnt, daß der Typus, den man seit G. B. Amici für die stärkeren Systeme wählt, eine stärkere Vergrößerung des Objektivbildes für die blauen Strahlen verglichen mit der für die roten zur Folge hat; man bezeichnet diese Erscheinung als chromatische Vergrößerungsdifferenz. Die Folge davon ist die, daß ein weißes Objekt durch das Objektiv mit blauen, ein schwarzes mit roten Außensäumen abgebildet wird.

Daß es in Hinsicht auf die sphärische Aberration nicht allein genügt, für den Achsenpunkt eine gute Strahlenvereinigung herbeizuführen, läßt sich schon aus den oben angeführten Sätzen über die Strahlenvermittelung schließen. E. Abbe hat aber auch den geometrischen Beweis dafür geliefert, daß die Aufgabe des Objektivs, ein kleines Flächenelement mit weit geöffneten Büscheln stark ($N$-fach) vergrößert abzubilden, nur dann erfüllt ist, wenn die Öffnungs-

noch weiter vergrößert, nämlich im Unendlichen abgebildet, die bildseitigen Öffnungswinkel also auf Null gebracht; dagegen werden aber die Gesichtswinkel von der verschwindenden Größe $w$ beträchtlich (auf $w'$) gesteigert.

c) Eine sehr wichtige Rolle spielt beim Mikroskop die Strahlungsvermittlung. Bereits in der ganz allgemeinen Besprechung dieser Verhältnisse (auf Seite 11) war darauf hingewiesen worden, daß die ganze Strahlenmenge zu bemessen sei nach dem Quadrat des Sinus des Öffnungswinkels $u$. Das gilt für die Strahlung in Luft, und nach ebendieser Regel läßt sich die Strahlung aller Trockensysteme behandeln, es bleiben also noch die Immersionssysteme zu erledigen. Um die hier vorliegenden, etwas verwickelten Verhältnisse leichter übersehen zu können, sei an eine Aufgabe erinnert, die nach Kenntnis des Brechungsgesetzes gestellt werden kann. Was sieht ein unter klarem, ruhigem Wasser befindlicher Taucher vom Sternenhimmel? Die Antwort lautet: er sieht den ganzen Sternenhimmel, aber zusammengedrängt auf einen Winkelraum von $97\frac{1}{2}^0$ (Fig. 54). Bei Neigungswinkeln im Wasser, die über $48\frac{3}{4}^0$ betragen, tritt totale Reflexion ein, und der Meeresgrund selber wird widergespiegelt. Wenn also einem solchen Wasserwinkel von $48\frac{3}{4}^0$ ein Luftwinkel von $90^0$ entspricht, und in beiden die gleiche Strahlenmenge enthalten ist, so müssen offenbar in einem größeren Wasserwinkel Strahlen vorhanden sein, die unter diesen Verhältnissen nicht in Luft austreten können. Und so ist es auch wirklich. Die Anzahl der von einem leuchtenden Punkte in einem dichteren Mittel ausgesandten Strahlen ist, wie in dem angeführten Beispiele für Neigungen unter $48\frac{3}{4}^0$ aus dem Brechungsgesetze folgt, zu bemessen einmal nach dem Quadrat des Sinus des Öffnungswinkels $u$ (s. S. 11) und ferner nach dem Werte $n$ des Brechungsexponenten. Man erhält also für ein Trockensystem $(\sin u)^2$ und für ein Immersionssystem $(n \sin u)^2$. Nach dem Vorgange von E. Abbe sei das Produkt $A = n \sin u$ mit dem Ausdrucke numerische Apertur bezeichnet. Bei der in der Figur angenommenen ebenen Grenzfläche kann aus dem dichteren

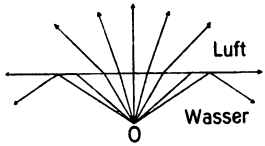



Fig. 54. Das Tauchererperiment. Von dem ganzen, von $O$ im Wasser ausgesandten Strahlenbüschel kann bei einer ebenen Grenzfläche in Luft nur der Teil austreten, der innerhalb eines Kegelwinkels von $48\frac{3}{4}^0$ um die Achse liegt. Weiter geöffnete Strahlen werden an der Grenzebene total reflektiert.

Mittel kein Strahl austreten, dessen Apertur größer ist als 1, doch ist man in der Praxis natürlich nicht an ebene Grenzflächen gebunden. Beschreibt man beispielsweise um den im dichteren Mittel angenommenen strahlenden Punkt eine Kugel, so können aus einer solchen Grenzfläche (s. Fig. 55) auch Strahlen austreten, die einen sehr großen Winkel mit der mittleren Richtung einschließen. Auf solche Weise — wie später gezeigt werden wird, haben die den Objekten nächsten Linsen, die Frontlinsen der Mikroskope, etwa diese Einrichtung — führen Immersionssysteme von einem im dichteren Mittel befindlichen Objektpunkt dem beobachtenden Auge eine größere Strahlenmenge zu, als das die Trockensysteme mit größter Öffnung vermögen. Denn während bei einem solchen wegen $n = 1$

$$A = \sin u \leq 1$$

die numerische Apertur die Einheit nicht einmal erreichen kann, gelingt es bei einem Immersionssystem wegen

$$A = n \sin u < n$$

dem Werte von $n$ nahe zu kommen. So führt man Wasserimmersionen aus ($n = 1{,}33$), wo $A = 1{,}25$ ist, und Ölimmersionen ($n = 1{,}51$) mit $A = 1{,}40$, ja sogar Monobromnaphthalinimmersionen ($n = 1{,}65$) mit $A = 1{,}60$. Bei den letzterwähnten entsteht eine Schwierigkeit durch die Forderung, daß zwischen dem leuchtenden Punkt und der gekrümmten Fläche der Frontlinse sich kein Medium von geringerer Brechung befinden darf. Es muß also Monobromnaphthalin auch als Einbettungsmedium für das Präparat verwendet werden. Da trifft es sich ungünstig, daß organische Präparate durch die chemische Wirkung dieses Einbettungsmittels zerstört werden würden. Man hat daher diese Systeme mit der höchsten Apertur im wesentlichen nur für die Untersuchung des Kieselpanzers verschiedener Diatomeenarten verwenden können.

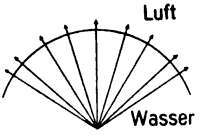



Fig. 55. Eine schematische Darstellung der Wirkung einer Frontlinse.

Das ganze vom strahlenden Punkt in Wasser ausgesandte Strahlenbüschel kann bei einer passend gewählten (kugeligen) Grenzfläche in Luft austreten.

d) Handelt es sich jetzt um die Verwirklichung der Abbildung, so ist es für die Theorie des Mikroskops notwendig, der Behandlung der Aberrationen einen Abschnitt vorangehen zu lassen, in dem auf die Natur des Lichtes als einer Wellenbewegung Be-

zug genommen wird. Bei den anderen Instrumenten lag dazu keine unumgängliche Notwendigkeit vor, denn deren Objekte hatten stets eine beträchtliche Ausdehnung gehabt. Bei dem Mikroskop aber kommen Objekte oder Objekteinzelheiten von der Größe der Wellenlänge des Lichtes vor, und in solchen Fällen lassen sich die Vereinfachungen der geometrischen Optik nicht mehr anwenden, sondern man muß dann auf die physikalische Lichttheorie[1]) zurückgehen.

Die geradlinigen Strahlen, die man sich von einer Lichtquelle nach allen Seiten ausgehend dachte, finden sich in der Wirklichkeit nicht, sie geben nur die Richtungen an, in denen sich die von dieser Lichtquelle erregte Wellenbewegung ausbreitet. Jeder Punkt in einer solchen Richtung kann als ein neues Erregungszentrum aufgefaßt werden. Treffen Wellenbewegungen, die von demselben Zentrum stammen, auf späteren Stellen ihrer Bahn zusammen, so können sie sich verstärken, also größere Helligkeit hervorbringen, oder sich schwächen, also geringere Helligkeit oder gar Dunkelheit entstehen lassen. Man nennt diese gegenseitige Beeinflussung Interferenz und spricht davon, daß zwei Strahlen (eigentlich die Wellenbewegungen in zwei Lichtrichtungen) miteinander interferieren.

Die Gesamtheit dieser Erscheinungen, bei denen man von der Voraussetzung der geometrischen Optik absieht, daß sich die voneinander unabhängigen Lichtstrahlen geradlinig fortpflanzen, bezeichnet man als Beugungserscheinungen, oder man spricht auch wegen der dabei auftretenden Spektralfarben von Beugungsspektren. Diese Beugungserscheinungen werden immer dann bemerkt, wenn die Objekte so klein sind, daß ihre Ausmaße mit der Wellenlänge des Lichtes verglichen werden können. Es sei hier nur an die farbigen Beugungserscheinungen erinnert, die man bei der Betrachtung einer Kerzenflamme durch einen schmalen Spalt oder besser durch ein feines Gitter wahrnimmt.[2])

Da es sich bei den Objekten des Mikroskops häufig um außerordentlich feine Einzelheiten handelt, so spielt die Beugung dabei eine sehr wichtige Rolle, denn das vom Beleuchtungsapparat des Mikroskops kommende Licht durchsetzt das Objekt genau so wie den Spalt in dem sogleich zu besprechenden einfachen Falle. Dieser

1) Genaueres findet sich bei L. Graetz, das Licht und die Farben. 3. Aufl. S. 53—87 (Nr. 17 dieser Sammlung).

2) L. Graetz, S. 82—83.

ganz einfache, aber doch in mancher Hinsicht sehr charakteristische Fall läßt sich an der der Graetzischen Darstellung entnommenen Fig. 56 schildern. Der mit Hilfe der Linse *L* durch ein ziemlich enges Lichtbüschel beleuchtete Spalt *Sp* (er kann auch durch eine Spaltreihe, ein Gitter, ersetzt werden) läßt bei *B* eine ziemlich stark in die Breite ausgedehnte Beugungserscheinung entstehen. Darin wechseln helle Stellen (Beleuchtungsmaxima) und dunkle (Minima) miteinander ab; hauptsächlich interessieren die Richtungen nach den Stellen der größten Lichtstärke oder den Beleuchtungsmaximis. Man unterscheidet sie als erste Maxima,

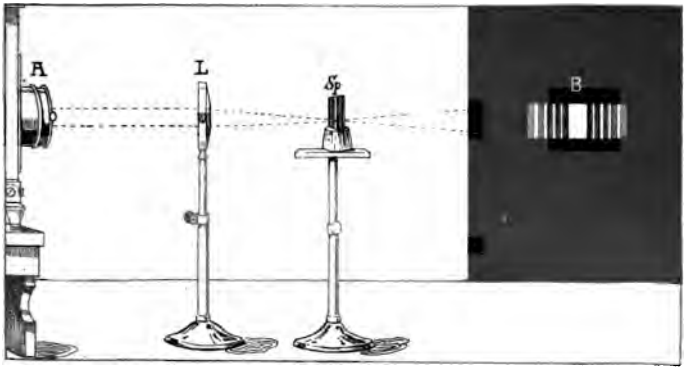



Fig. 56. Die Beugungserscheinungen beim Durchgange des Lichts durch einen engen Spalt.

zweite, dritte usw., von der direkten Fortsetzung des einfallenden Büschels, die in den folgenden Figuren 57 bis 61 durch 0 charakterisiert sein möge.

J. Fraunhofer hat eine Formel für den Winkelabstand $u$ des ersten Maximums von dem Beleuchtungsbüschel angegeben, wenn ein Gitter vorliegt, dessen Elemente um die Entfernung $d$ voneinander abstehen. Sie lautet:

12) $$\sin u = \frac{\lambda}{n d},$$

dabei bedeutet $\lambda$ die Wellenlänge des bei der Abbildung verwendeten Lichtes. Eine entsprechende Ausdehnung der dann nicht mehr scharf abgegrenzte Maxima zeigenden Beugungserscheinung ergibt sich auch bei kleinen Strukturen unregelmäßiger Form.

Hält man an dem Beispiele des Gitters fest, läßt aber das Licht in ein anderes Mittel (z. B. Öl $n_D = 1{,}5$) austreten, so zeigt die Fig. 58, daß dasselbe Gitter nun ein ganz anderes Beugungsspektrum entwirft und zwar ein viel engeres, so daß in demselben Winkelraume wie oben nicht drei, sondern vier Maxima liegen. Der Grund dafür ist der, daß nach S. 12 die Wellenlänge $\lambda$ in dem Verhältnis von 1,5 zu 1 kürzer geworden ist. Genau dasselbe Beugungsspektrum würde sich in Luft ergeben haben, wenn man ein tief violettes Beleuchtungsbüschel von

$$\lambda = 0{,}589\ \mu / 1{,}5 = 0{,}393\ \mu$$

angewandt hätte.

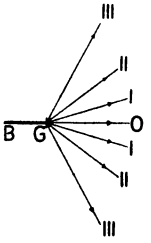



Fig. 57. Die Beugungserscheinungen eines engen, gelben Lichtbüschels $BG$ an dem Gitter $G$ mit einer Streifenbreite $d = 0{,}002\,\text{mm} = 2\,\mu$ in Luft: Die ersten, zweiten, dritten Maxima haben von der $O$-Richtung Abstände von etwa 17, 36, 62°.

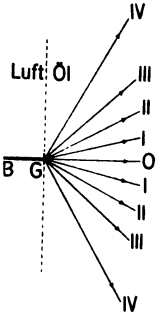



Fig. 58. Die Beugungserscheinungen eines engen, gelben Lichtbüschels $BG$ an dem Gitter $G$ mit einer Streifenbreite $d = 0{,}002\,\text{mm} = 2\,\mu$ in Öl: Die ersten, zweiten, dritten, vierten (fünften) Maxima haben von der $O$-Richtung Abstände von etwa $11^1/_2$, 23, 36, 52, (79)°.

Es ist nun eines der großen Verdienste E. Abbes, diese aus der Fraunhoferschen Theorie folgenden Tatsachen zur Erklärung der Bilderzeugung im Mikroskop herangezogen zu haben. Er wies dabei zunächst darauf hin, daß, damit überhaupt ein Bild des Gitters, d. h. eine abwechselnd helle und dunkle Streifung vom richtigen Abstande zustande komme, mindestens zwei aufeinanderfolgende Maxima des Beugungsspektrums dieses Gitters in das Mikroskopobjektiv eintreten müßten. Aus der Fraunhoferschen Formel 12) erhält man sofort einen Ausdruck für die kleinste Streifenbreite

$$13) \qquad d = \frac{\lambda}{n \sin u},$$

die ein Mikroskopobjektiv der numerischen Apertur $n \sin u$ zu erkennen gestattet, wenn das Beleuchtungsbüschel mit seiner Achsenrichtung zusammenfällt (bei gerader Beleuchtung). Man bezeichnet diese Größe auch als die Grenze der Auflösung des

Mikroskopobjektivs bei gerader Beleuchtung. Sieht man nun näher zu, was dabei vorgeht, so erkennt man leicht, daß das Objektiv die Fraunhofersche Beugungserscheinung bis zum ersten Maximum aufnimmt und diesen Teil in seiner hinteren Brennebene (die nach der Unterschrift zu Fig. 53 mit der Austrittspupille zusammenfällt), also sehr nahe an der letzten Objektivfläche, abbildet. Dieses Bild kann leicht beobachtet werden, wenn man das Okular entfernt und in den Tubus hineinsieht. Bei einer engen Streifung erhält man beispielsweise die nebenstehende Figur 59. Dabei bedeutet der mittlere kleine Kreis (0) das in der Richtung des Beleuchtungsbüschels liegende Hauptmaximum, an das sich rechts und links die ersten (1) Maxima anschließen. Bei einer noch engeren Streifung stehen die beiden ersten Maxima sogar noch weiter von der Mitte ab, wie sich aus der Formel 12) ergibt, und es würde zu ihrer Aufnahme ein System größerer Apertur notwendig sein; doch kann man sich auch durch die schiefe Beleuchtung helfen, und mit einem Objektiv derselben Öffnung durch die in der Figur 60 angedeutete schiefe Richtung des Beleuchtungsbüschels doch noch wenigstens ein erstes Maximum nutzbar machen. Wie sich aus dieser Figur entnehmen läßt, kann durch eine Beleuchtung von äußerster Schiefe die Auflösungsfähigkeit eines Objektivs bestimmter Apertur etwa verdoppelt werden:

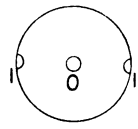



Fig. 59. Die in der hinteren Brennebene des Mikroskopobjektivs auftretende Beugungserscheinung einer bei gerader Beleuchtung eben noch aufgelösten Streifung.

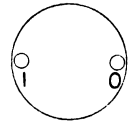



Fig. 60. Die in der hinteren Brennebene des Mikroskopobjektivs auftretende Beugungserscheinung einer bei schiefer Beleuchtung eben noch aufgelösten Streifung.

$$14) \qquad d = \frac{\lambda}{2A}.$$

Verhindert man (häufig durch die Anwendung von Blendungsscheiben) das in der Richtung des Beleuchtungsbüschels weitergehende Licht daran, in das Objektiv einzutreten, und erhält also bei der Beobachtung nur abgebeugtes Licht, so heben sich die beugenden Struktureinzelheiten hell vom dunkeln Hintergrunde ab. Man spricht alsdann von einer Dunkelfeldbeleuchtung. Diese Methode ist für den Nachweis vereinzelter kleinster Objekte besonders günstig, weil der Kontrast ganz allgemein ihr Vorhandensein erkennen läßt, selbst wenn ihre scheinbare Größe weit

unter der Grenze der angularen Sehschärfe bleiben sollte. Als Beispiele seien angeführt die einzelnen Regentropfen, die man bei schwachem Regen vor einem dunkeln Hintergrund auf ziemlich weite Entfernung fallen sieht, die Sonnenstäubchen, durch die sich ein Sonnenstrahl in einem sonst dunkeln Zimmer kenntlich macht, und schließlich die Fixsterne am Himmel. Die Form der Objekte kann man aber nicht erkennen, sondern nur ihr Vorhandensein, und zwar muß nach Seite 19 der scheinbare Abstand zweier solcher Objekte den Wert der angularen Sehschärfe mindestens erreichen, wenn sie nicht als ein einziges aufgefaßt werden sollen. Diese Dunkelfeldbeleuchtung hat H. Siedentopf in seinem Ultramikroskop zum Nachweise vereinzelter Teilchen ausgebildet, deren Dimensionen auf sehr kleine Bruchteile der Wellenlänge des Lichts (bis zu 0,004 $\mu$) herabgehen. Eine optische Abbildung solcher Objekte wird aber durch diese Einrichtung nicht geliefert.

Ist das Mikroskopobjektiv sphärisch und chromatisch gut korrigiert — und nur solche sollen hier betrachtet werden —, so vereinigen sich alle von dem Objektelement nach dem Fraunhoferschen Beugungsspektrum zielenden Richtungen schließlich wieder, von der in die hintere Brennebene fallenden Austrittspupille des Objektivs ausgehend, an dem auf der Bildseite konjugierten Flächenelement, und als Bild ergibt sich der Interferenzeffekt aller von der Austrittspupille ausgehenden Wellenzüge. Da ist nun außerordentlich wichtig, daß beim Mikroskop die bilderzeugende Ursache nicht wie bei gröberen Objekten das Objekt allein ist, sondern daß die Begrenzung der vom Objekt verursachten Beugungserscheinung durch die Öffnung des Mikroskopobjektivs von ausschlaggebender Bedeutung wird. Sobald ihre angulare Ausdehnung in dem Medium vor dem Objektiv größer ist als der Öffnungswinkel des Systems in eben diesem Mittel, kann das Beugungsspektrum nur zum Teil aufgenommen werden, und das zeigt sich in einer entsprechenden Beeinflussung des Bildes. Das Bild hört auf, objektähnlich zu sein, und entspricht nur dem wirksamen Teile der Beugungserscheinung; ein ganz anders beschaffenes Objekt, aus dessen Beugungserscheinung man einen mit dem ersten übereinstimmenden Teil herausblenden kann, ergibt ein diesem gleiches Bild. E. Abbe hat für diese Angabe die folgende experimentelle Bestätigung angegeben: Auf der Teilmaschine werden zwei Gitter hergestellt, deren eines, $c$, die doppelte Feinheit des anderen, $a$, besitzt. Die Beugungserscheinungen in den beiden

Austrittspupillen werden demnach so aussehen, wie es die nebenstehenden Figuren *b* und *d* zeigen. Blendet man nun aus *b* die beiden Maxima erster Ordnung ab, wie es *e* zeigt, so erhält man im Bilde tatsächlich ein Gitter doppelter Feinheit, ohne daß an dem gröberen, infolge seiner Herstellung genau bekannten Objekt irgend etwas geändert worden wäre.

Wenn also auf diese Weise die Grenze *d* des abgebildeten Details mit der Größe der Apertur *A* in einen Zusammenhang gebracht worden ist, so kann man ohne Schwierigkeit die Brechkraft bestimmen, die einem Mikroskop von bestimmter Apertur zweckmäßig eigen sein muß. Es sei an das angulare Maß der Sehschärfe erinnert, das auf S. 19 zu 1′ angenommen worden war.

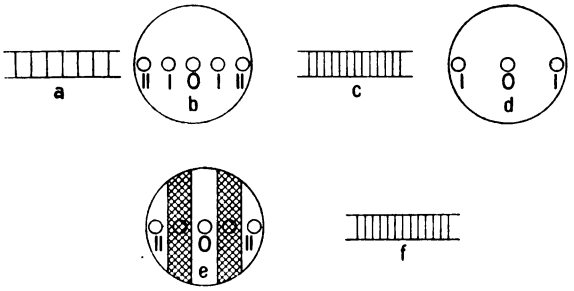



Fig. 61. Zur experimentellen Bestätigung der Abbeschen Theorie der Bilderzeugung im Mikroskop.

Berücksichtigt man, daß bei einer so kleinen Winkelausdehnung die Wahrnehmung zwar eben möglich ist, aber nicht bequem zu sein braucht, so wird es verständlich, daß man beim Mikroskop das wahrzunehmende Detail *d* unter einem Winkel $w'$ abzubilden sucht, der zwischen 2 und 4 Winkelminuten liegt. Bei einer Beleuchtung mit schiefem Licht erhält man also als schematische Grenzen für die Brechkraft (s. S. 83) des ganzen Mikroskops, wenn eine bequeme Wahrnehmung der abgebildeten Einzelheiten erfolgen soll,

$$15) \qquad D_2 = \frac{\operatorname{tg} w'}{d} = \frac{2A \operatorname{tg} 2'}{\lambda} \text{ und } D_4 = \frac{2A \operatorname{tg} 4'}{\lambda}$$

und entsprechend für $l = 25$ cm

$$16) \qquad \mathfrak{N}_2 = \frac{2Al \operatorname{tg} 2'}{\lambda} \text{ und } \mathfrak{N}_4 = \frac{2Al \operatorname{tg} 4'}{\lambda}.$$

Setzt man für Beobachtungen bei Tageslicht $\lambda = 0{,}55\,\mu$, so erhält man nach E. Abbe die nachstehende Tabelle für die Grenzen der Vergrößerungszahlen $N_2$ und $N_4$ bei den verschiedenen Aperturen:

| $A = n \sin u$ | $d$ in $\mu$ | $N_2$ | $N_4$ |
|---|---|---|---|
| 0,10 | 2,75 | 53 | 106 |
| 0,30 | 0,92 | 159 | 317 |
| 0,60 | 0,46 | 317 | 635 |
| 0,90 | 0,31 | 476 | 952 |
| 1,20 | 0,23 | 635 | 1270 |
| 1,40 | 0,19 | 741 | 1481 |
| 1,60 | 0,17 | 847 | 1693 |

Bei der Zusammenstellung wird auffällig sein, wie niedrige Vergrößerungen sich nur ergeben, wenn man sich an die oben erläuterten Regeln hält. Ist die bei einem Mikroskop verwirklichte Vergrößerung beträchtlich kleiner als der nach der Tabelle seiner Apertur entsprechende $N_2$-Wert, so kann man das in dem Bilde enthaltene Detail schwer oder gar nicht sehen, weil es unter einem zu kleinen Sehwinkel $w'$ erscheint; ist sie, und das wird öfter vorkommen, größer als $N_4$, so sieht man kein weiteres Detail, weil eben keins in dem Bilde vorhanden ist; das Bild ist inhaltsleer. Die Zwecklosigkeit, die darin liegt, bloß die Vergrößerungen zu steigern, ist schon von J. Petzval hervorgehoben worden: „Deshalb informiert uns auch derjenige, welcher von einem neu erfundenen Mikroskop des Optikers N. Nachricht gibt und weiter gar nichts sagt, als wieviel millionenmal es vergrößere, weniger von den Eigenschaften des Instruments als von dem Umfange seiner Sachkenntnis."

Bei gleichbleibender Apertur ist die Steigerung der Vergrößerungszahl des Mikroskops mit einer Abnahme des Durchmessers der Austrittspupille verbunden; er beträgt bei $N_2$ etwa 1 mm und bei $N_4$ nur noch etwa 0,5 mm. Dies hat einmal einen großen Nachteil wegen der Dunkelheit des Bildes, worauf schon S. 75 hingewiesen worden war, und ferner werden infolge der Enge der Strahlenbüschel die unter dem Namen der „entoptischen Erscheinungen" bekannten Störungen um so schädlicher, die darauf zurückzuführen sind, daß in den Augenmedien etwa vorhandene Ungleichmäßigkeiten auf der Netzhaut Schatten werfen.

Über die Verteilung der Vergrößerung auf Objektiv und Okular gibt die physikalische Theorie der Bilderzeugung keinen Aufschluß,

sie ist von dieser Verteilung ganz unabhängig. Diese Aufgabe kann erst nach der nun folgenden Behandlung der Bildfehler im Objektiv erledigt werden.

e) Die Strahlenvereinigung im Mikroskopobjektiv. Nach den Auseinandersetzungen über die physikalische Theorie der Bilderzeugung im Mikroskop handelt es sich nunmehr darum, die Anforderungen an die Korrektion des wichtigsten Bestandteils, des Objektivs, in der Sprache der geometrischen Optik anzugeben.

Was die chromatische Korrektion angeht, so müssen zunächst die Schnittweiten zweier ausgewählter Farben, Rot und Blau nämlich, gleich sein, denn als Instrument zu subjektivem Gebrauche muß das Mikroskopobjektiv optisch korrigiert werden. Wenn nicht die Glaswahl geeignet erfolgt — und das ist erst seit der Eröffnung des Jenaer Glaswerks möglich —, so weichen die Schnittweiten der gelben und violetten Strahlen von denen der ausgewählten ab: es entsteht ein namentlich für Systeme von großer Öffnung schädliches sekundäres Spektrum. Ist ferner für eine mittlere, etwa die gelbe Farbe, die sphärische Korrektion herbeigeführt worden, so herrschen die gleichen Verhältnisse durchaus noch nicht für die anderen Farben, im Gegenteil pflegen dann die roten Strahlen eine mit wachsenden Öffnungswinkeln immer abnehmende, die blauen eine immer zunehmende Schnittweite zu erhalten; die sphärische Aberration ist also nach der Farbe verschieden, oder, wie E. Abbe es genannt hat, es besteht eine chromatische Differenz der sphärischen Aberration. Schließlich sei noch erwähnt, daß der Typus, den man seit G. B. Amici für die stärkeren Systeme wählt, eine stärkere Vergrößerung des Objektivbildes für die blauen Strahlen verglichen mit der für die roten zur Folge hat; man bezeichnet diese Erscheinung als chromatische Vergrößerungsdifferenz. Die Folge davon ist die, daß ein weißes Objekt durch das Objektiv mit blauen, ein schwarzes mit roten Außensäumen abgebildet wird.

Daß es in Hinsicht auf die sphärische Aberration nicht allein genügt, für den Achsenpunkt eine gute Strahlenvereinigung herbeizuführen, läßt sich schon aus den oben angeführten Sätzen über die Strahlenvermittelung schließen. E. Abbe hat aber auch den geometrischen Beweis dafür geliefert, daß die Aufgabe des Objektivs, ein kleines Flächenelement mit weit geöffneten Büscheln stark ($N$-fach) vergrößert abzubilden, nur dann erfüllt ist, wenn die Öffnungs-

winkel $u$ auf der Objektseite zu den bildseitigen $u'$ in einem über die ganze Öffnung konstanten Verhältnis stehen:

$$\frac{n \sin u}{\sin u'} = N.$$

Man nennt diese Beziehung die Abbesche Sinusbedingung. Diese Bedingung steht im Widerspruche mit der allgemeinen Lagen- und Größenbeziehung zwischen dem Objekt- und dem Bildraum der Gaußischen Abbildung. Danach muß zwischen $u$ und $u'$ der Zusammenhang bestehen

$$\frac{\operatorname{tg} u}{\operatorname{tg} u'} = \frac{N}{n},$$

eine Beziehung, die sich beim Vorhandensein einer Vergrößerung nur für ganz kleine Winkel $u$ (bei denen sin und tg die gleichen Werte haben) mit der Sinusbedingung verträgt. Wenn nun aber, wie oben betont wurde, die Sinusbedingung für das Mikroskopobjektiv von überwiegender Bedeutung ist, so muß diese Konstruktion, soweit endliche Öffnungswinkel in Betracht kommen, in ihrem Verhalten von den Verhältnissen im Gaußischen Bildraum abweichen. Das ist nun auch in der Tat der Fall, und zwar zeigt sich das hauptsächlich darin, daß für kein anderes Punktepaar auf der Achse eine eindeutige Abbildung besteht, wenn für ein Paar bereits die sphärische Aberration aufgehoben, und die Sinusbedingung erfüllt worden ist. Selbst für Punkte, die in ganz unmittelbarer Nachbarschaft eines solchen aplanatischen (abweichungsfreien) Punktepaares liegen, tritt eine starke sphärische Aberration ein, oder, anders ausgedrückt, die unter den verschiedenen, von dem benachbarten Objektpunkt aus konstruierbaren Öffnungswinkeln $u$ ausgehenden Strahlen schneiden auf der Bildseite die Achse nicht in einem Punkt, sondern in unendlich vielen verschiedenen. — Die Bestimmungsgleichung für das Sinusverhältnis kann auch aufgefaßt werden als die Bedingung dafür, daß die verschiedenen, konzentrisch um die Achse liegenden Teile des Objektivs, die Objektivzonen, alle die gleiche Vergrößerung ergeben. So ausgesprochen erscheint sie für die geometrische Optik in ihrer ganzen Wichtigkeit, und wirklich ist sie für die gute Wirkung eines Mikroskopsystems großer Öffnung von so grundlegender Bedeutung, daß E. Abbe durch ein Experiment den Nachweis führen konnte: auch die alten, durch bloßes Tatonnement (Probieren) gefundenen Mikroskopobjektive seien nicht bloß sphärisch korrigiert, sondern erfüllten auch die Sinus-

bedingung; sie seien also nach seiner Bezeichnungsweise aplanatische Systeme.

Die im Objektiv zurückbleibenden Fehlerreste, seien sie nun auf unausgeglichene Farbenabweichung oder auf sphärische Aberration zurückzuführen, machen sich dadurch geltend, daß der ideale Bildpunkt im Objektivbilde durch einen Aberrationskreis ersetzt wird, ein Umstand, der sich zunächst bei dem kleinsten, dem Objektiv zugänglichen Detail $d$ störend bemerkbar macht. Der Durchmesser dieses Aberrationskreises hängt bei Festhaltung der gleichen Tubuslänge $\Delta$ bei starken Systemen nur von dem Typus und nicht von der Brennweite des Objektivs ab. Es leuchtet ein, daß die Aberrationskreise zu dem Objektivbilde etwa in dem gleichen Verhältnis stehen wie Mosaiksteinchen zu einem fertigen Mosaikwerke. Auf solche Weise können Einzelheiten nur dann wiedergegeben werden, wenn die Steinchen ihnen gegenüber klein sind; und ist die Größe der Steinchen gegeben, so ist dadurch ein gewisser Mindestmaßstab für die Mosaik mitbestimmt. Bei dem Objektivbilde verhält es sich entsprechend: es müssen auch hier die kleinsten noch wiederzugebenden Einzelheiten wesentlich größer sein als die Aberrationskreise. Die Größe des Details im Objektivbilde $Nd = \frac{\Delta}{f_1'} d$ kann aber durch die Verkleinerung von $f_1'$ auf einen vorgeschriebenen Wert gebracht werden. Als Schlußfolgerung ergibt sich mithin, daß man durch Wahl einer genügend kleinen Brennweite für einen geeigneten Objektivtypus das zugängliche Detail im Objektivbilde wesentlich größer erscheinen lassen kann als den dem Typus eigentümlichen Aberrationskreis. Wendet man also eine geeignete Okularvergrößerung auf das Objektivbild an, so wird man das Detail deutlich sehen, während der Aberrationskreis unter der Grenze der Sichtbarkeit bleibt. Die Güte der Strahlenvereinigung verschiedener Objektivtypen wird man also zweckmäßig nach der Stärke der Okularvergrößerung oder der Übervergrößerung beurteilen, die sie aushalten.

Wenn nun etwas über die historische Entwicklung der Objektive gesagt werden soll, so wurden die ersten Mikroskopobjektive vielfach durch bloße Versuche, Tatonnieren, hergestellt. Der erste, der sie berechnete, scheint G. B. Amici gewesen zu sein; er ließ übrigens nach seinen Rechnungen auch regelmäßig Linsensysteme zum Verkauf herstellen. Ihm ist die Einführung der halbkuge-

ligen Frontlinse zuzuschreiben, auf die bereits bei der Strahlungsvermittlung auf S. 85 hingewiesen worden ist als auf ein Mittel für Immersionssysteme, die aber auch bei starken Trockensystemen Anwendung findet. B. G. Amici hat sowohl Wasser- als Ölimmersionen hergestellt, und er erkannte auch die Wichtigkeit, bei starken Systemen die in der Rechnung angenommene Deckglasdicke einzuhalten. Da nun in der mikrographischen Praxis genau gleichmäßiges Deckglasmaterial nicht immer zur Hand ist, so half er sich damit, daß er statt eines bestimmten Objektivs deren mehrere führte, die, sonst gleichmäßig, je auf eine verschiedene Deckglasdicke abgestimmt waren. Dasselbe Ergebnis erreichte der englische Optiker A. Roß 1837 mit der Korrektionsfassung auf eine mechanisch einfachere und weniger kostspielige Weise, indem er durch eine Abstandsänderung im Mikroskopobjektiv selbst die Möglichkeit vorsah, den Korrektionszustand dem vorliegenden Deckglas entsprechend zu ändern. Solche Korrektionsfassungen sind auch heute noch bei allen stärkeren Trockensystemen und bei den Wasserimmersionen im Gebrauche. Einen sehr großen Fortschritt bedeutete die auf den Vorschlag von J. W. Stephenson 1879 eingeführte homogene Immersion, wobei Deckglas, Frontlinse und Immersionsmittel gleiche Brechung haben. Hier ist man von der Einhaltung der Deckglasdicke in hohem Maße unabhängig, da sich durch eine passende Dicke der Ölschicht über dem Deckglase dessen abweichende Dicke ausgleichen läßt. Die Berechnung dieser Systeme geschah 1879 durch E. Abbe, der schon seit dem Jahre 1872 die Objektive der optischen Werkstätte von Carl Zeiß nach genauer trigonometrischer Berechnung ausführen ließ, und nun die homogenen Immersionen mit einer Apertur von 1,25 herausbrachte. Bei dieser großen Öffnung waren im wesentlichen nur noch die chromatischen Aberrationen bemerkbar, deren vollständige Beseitigung E. Abbe erst dann gelingen

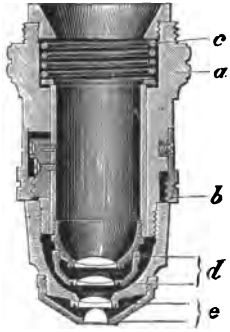



Fig. 62. Durch den Korrektionsring *b* wird die Entfernung zwischen dem oberen Teil *d* des Systems und dem unteren, mit der festen Fassung *a* verbundenen Teil *e* in angemessenen Grenzen variiert. Die Wurmfeder *c* hält beide Teile auseinander. Das optische System kann die gewöhnlichen starken Achromate charakterisieren. Die unterste Linse ist die mehrfach erwähnte halbkugelige Frontlinse. Ein schwächerer Achromat ist in Fig. 68 dargestellt.

konnte, als das unter seiner Mitwirkung gegründete und 1884 eröffnete Jenaer Glaswerk von Schott & Gen. die Auswahl in den Glasarten erweitert hatte, und als praktische Versuche mit dem Fluorit (Flußspat) die Möglichkeit der Verwendung dieses, besonders wertvolle optische Eigenschaften aufweisenden Minerals erwiesen hatten. Die 1886 unter dem Namen der Apochromate eingeführten Trockensysteme, Wasser- und Ölimmersionen zeigten nicht nur kein sekundäres Spektrum, sondern sie waren für mehrere Farben sphärisch korrigiert: die Aufhebung der chromatischen Differenz der sphärischen Aberration war in hohem Maße gelungen. Die Folge dieses sehr verbesserten Korrektionszustandes war eine außerordentliche Verringerung des jedem Typus eigentümlichen Aberrationskreises. Auf die bei allen diesen Systemen eingeführte, gleichmäßige chromatische Vergrößerungsdifferenz wird bei der Besprechung der Kompensationsokulare hingewiesen werden.

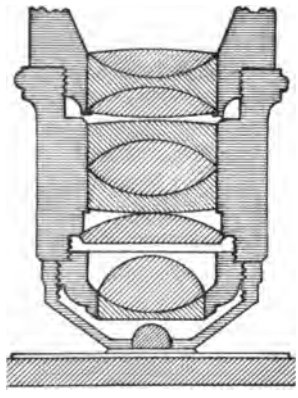


Fig. 63. Ein Apochromatsystem ($f = 2$ mm, $A = 1{,}40$) in dreifacher natürlicher Größe.

f) Die Strahlenvereinigung im Mikroskopokular. Was nun den zweiten Teil des zusammengesetzten Mikroskops, das Okular, angeht, so hatte es S. 82, Fig. 53 die Aufgabe, das mit geringen Öffnungswinkeln zustandekommende Objektivbild im Unendlichen abzubilden. Hauptsächlich wird hier die Strahlenbegrenzung zu besprechen sein; die Verwirklichung der Abbildung läßt sich ganz kurz behandeln, da es hier eigentlich nur auf die Beseitigung bestimmter Farbenabweichungen ankommt. Bei den Okularen tritt ein ähnliches Problem auf wie bei der Projektion mit durchfallendem Licht: jeder Punkt des Objektivbildes muß nämlich alles von der

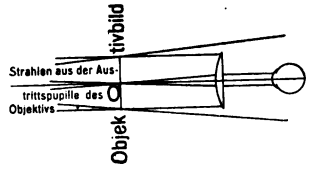



Fig. 64. Eine schematische Zeichnung für die Beschränkung des Gesichtsfeldes, die bei der Benutzung einer einfachen Lupe als Okular auftreten würde.

Austrittspupille des Objektivs stammende Licht in die Augenpupille strahlen, wenn er hell und deutlich erscheinen soll. Die Figur zeigt, daß das sicher nicht der Fall ist, wenn man etwa eine Lupe direkt auf das Objektivbild einstellen wollte. Man muß zu der eigentlich vergrößernden Augenlinse des Okulars noch eine Linse hinzufügen, die, ähnlich wie der Kondensor, die divergierenden Strahlenbüschel nach der Augenpupille leitet, und diese nennt man die Kollektivlinse oder das Kollektiv.

Das Ramsdensche Okular. Stellt man das Kollektiv an den Ort des Bildes, so wird dessen Größe nicht geändert, gleichgültig, wie die Brennweite des Kollektivs sein mag. Aus Gründen, die bei der Besprechung der chromatischen Korrektion der Okulare Platz finden werden, wählt man als Augenlinse eine gleich starke Linse, die um den Betrag ihrer Brennweite von dem Kollektiv entfernt ist. Diese beiden Linsen bilden dann die Austrittspupille des Objektivs reell hinter der Augenlinse ab, so daß man die Augenpupille in ihre Nähe bringen kann. Durch diese Austrittspupille des ganzen Mikroskops, den Ramsdenschen Kreis, wird wie durch ein Schlüsselloch das im Unendlichen liegende Bild beobachtet, und zwar muß man kleine Kopf- und Augenbewegungen machen, wenn man seitliche Teile des Gesichtsfeldes beobachten will. Von dem hier erläuterten einfachsten Schema weicht das Ramsdensche Okular insoweit ab, als man das Kollektiv nicht direkt in, sondern meistens etwas hinter das Objektivbild stellt, um nicht den auf dem Kollektiv etwa liegenden Staub zugleich vergrößert im Bilde zu sehen. Da die vordere Brennebene des Ramsdenschen Okulars zugänglich ist, so kann man in ihr Meßvorrichtungen, Fäden, Kreuze, Okularmikrometer anbringen.

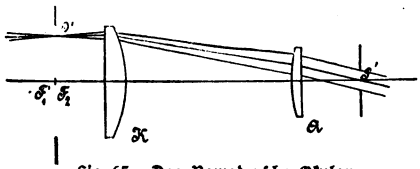


Fig. 65. Das Ramsdensche Okular.
*K* Kollektiv; *A* Augenlinse.

Das Huygensische Okular. Hier stellt man das schwächere Kollektiv vor die Vereinigungsweite des Objektivbildes, und die doppelt so starke Augenlinse hat dann das durch das Kollektiv etwas verkleinerte Objektivbild im Unendlichen abzubilden. Die Austrittspupille des ganzen Mikroskops ist wieder reell und liegt

etwas hinter der Augenlinse. Auch bei diesem Okular tritt wieder die Schlüssellochbeobachtung durch den Ramsdenschen Kreis ein.

Bei diesen beiden Okulartypen hat man auf die Hebung der sphärischen Fehler gar keine Rücksicht genommen, denn bei dem kleinen Öffnungsverhältnis (unter 1 : 20) ist die Bildverschlechterung durch die sphärische Aberration ganz unmerklich. Von den Farbenfehlern läßt man die Verschiedenheit der farbigen Vereinigungsweiten bestehen, dagegen hat man durch zweckmäßige Wahl des Abstandes zwischen den beiden einfachen Linsen den durch das Okular von einem farbenfreien Objekt gelieferten farbigen Bildern die gleiche scheinbare Größe gegeben. Es ist verständlich, daß diese Eigenschaft für die stärkeren Mikroskopobjektive nicht sehr vorteilhaft war, weil sich nach S. 93 bei diesen schon im Objektivbilde eine chromatische Vergrößerungsdifferenz zeigte, die also durch die Okularvergrößerung nur deutlicher wurde. Diese Erscheinung ist auch bei den Apochromaten vorhanden, und E. Abbe berechnete, um sie verschwinden zu lassen, die Kompensationsokulare. Er versah diese schon wesentlich komplizierter gestalteten Konstruktionen mit einer bestimmten chromatischen Vergrößerungsdifferenz, die aber gerade im umgekehrten Sinne wirkte wie die in den Objektiven, so daß also die Okulare für Rot eine kürzere Brennweite erhielten als für Blau und somit dem Auge ein vollständig farbenreines Bild boten. Als Beispiel sei für ein Objektiv angenommen $N_{\text{rot}} = 60$; $N_{\text{blau}} = 61$ und für ein Kompensationsokular $f_{2\,\text{rot}} = 45$ mm $f_{2\,\text{blau}} = 45{,}75$ mm, dann ist die Vergrößerungszahl nach S. 83 und 67 als $N = \frac{\Delta}{f_1'} \frac{l}{f_2'}$ zu bestimmen, und das ergibt für Rot $60 \cdot 250 : 45 = 333$ und für Blau $61 \cdot 250 : 45{,}75 = 333$. Wie aus dem Vorhergehenden verständlich sein wird, kann man die Kompensationsokulare vorteilhaft auch für die stärkeren Achromate verwenden.

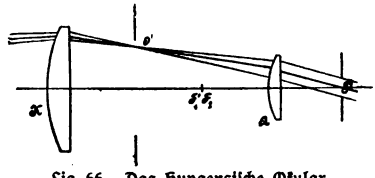


Fig. 66. Das Huygenssische Okular.
*K* Kollektiv; *A* Augenlinse.

Der Beleuchtungsapparat oder der Kondensor[1]) hat bei dem Mikroskop ebenso wie bei der Projektion im durchfallenden

1) Siehe die Anmerkung auf S. 61.

Lichte die Aufgabe, eine bequeme Durchleuchtung der meistens durchscheinenden Objekte möglich zu machen. Ein Unterschied gegen die Anwendung bei der Projektion besteht aber darin, daß beim Mikroskop häufig enge Beleuchtungsbüschel gebraucht werden von einer Schiefe, die zwischen 0° und dem größten Öffnungswinkel $u$ des Objektivs liegt, und die sich meistens nur unbequem mit einem einfachen Spiegel erreichen läßt. Um diese verschiedenen Forderungen zu erfüllen, konstruierte E. Abbe 1873 seinen Beleuchtungsapparat (Kondensor) wie ein aus einfachen Linsen zusammengesetztes Mikroskopobjektiv sehr großer Apertur. Dann sind alle Strahlen vorhanden, und durch einfaches Verschieben einer Blende kann man auf bequeme Weise eine vorgeschriebene Schiefe des Beleuchtungsbüschels erhalten. — Namentlich für die Zwecke der Mikrophotographie werden manchmal höhere Anforderungen an die Kondensoren gestellt, und es werden dann auch achromatische Kondensoren angefertigt, oder man benutzt gar umgekehrte Mikroskopobjektive als Kondensoren. Um die Lichtstrahlen bequem in die Richtung nach oben lenken zu können, gibt man einem jeden Kondensor noch einen Spiegel bei.

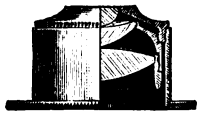


Fig. 67. Ein dreilinsiger Kondensor. Ein zweilinsiger befindet sich in Fig. 69 *g*.

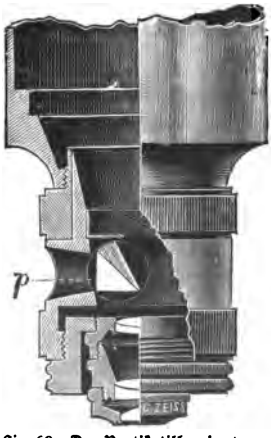



Fig. 68. Der Vertikalilluminator. *p* das Reflexionsprisma zur Regulierung des Strahlenganges für die Beleuchtung.

Besondere Formen des Kondensors sind für die Dunkelfeldbeleuchtung (s. S. 89) angegeben worden. Um ihre Ausbildung haben sich in neuester Zeit besonders W. von Ignatowsky und H. Siedentopf verdient gemacht; es werden dabei Spiegelungen zu Hilfe genommen.

Handelt es sich um undurchsichtige Objekte, die mit auffallendem Licht beleuchtet werden sollen, so macht es namentlich bei starken Systemen mit einem kleinen freien Objektabstande Schwierigkeiten, eine ausreichende Beleuchtung zu erhalten. Man verwendet dann den Vertikalilluminator und benutzt dabei die eine Hälfte des Beobachtungsobjektivs

selbst zur Beleuchtung und nur die andere zur Beobachtung (Fig. 68).

g) Das Stativ des Mikroskops. Wenigstens einige Worte mögen dem mechanischen Teile des Mikroskops gewidmet werden. Die Aufgabe, Objektiv und Okular in der richtigen Entfernung voneinander und zueinander zentriert zu erhalten, erfüllt der Tubus, dessen Länge für die Größe von $\Delta$ bestimmend ist (s. S. 81). Man unterscheidet den kurzen kontinentalen von etwa 16 cm Länge von dem langen englischen Tubus, der etwa 25 cm lang ist. Für wissenschaftliche Untersuchungen scheint der erste jetzt häufiger angewandt zu werden. Das Objekt liegt auf dem unter dem Tubusende befindlichen Objekttische. Dieser wird häufig mit Feinbewegungen ausgestattet, die sowohl die beiden Verschiebungen (nach vorn und nach hinten und nach rechts und nach links) als auch die Drehung um die Tischmitte vorzunehmen und zu messen gestatten. Die Einstellung geschieht dadurch, daß man den Abstand zwischen dem Objekt und dem mit Objektiv und Okular versehenen Tubus ändert. Dazu sind bei Stativen, die für den Gebrauch mit stärkeren Systemen eingerichtet sind, zwei Bewegungseinrichtungen vorgesehen. Die erste, die für schwächere Systeme genügende, grobe Einstellung, besteht jetzt meist aus Zahn und Trieb, und zwar sind häufig die Zähne schief geschnitten, um einen sanften Gang hervorzubringen. Diese Bewegung wird er-

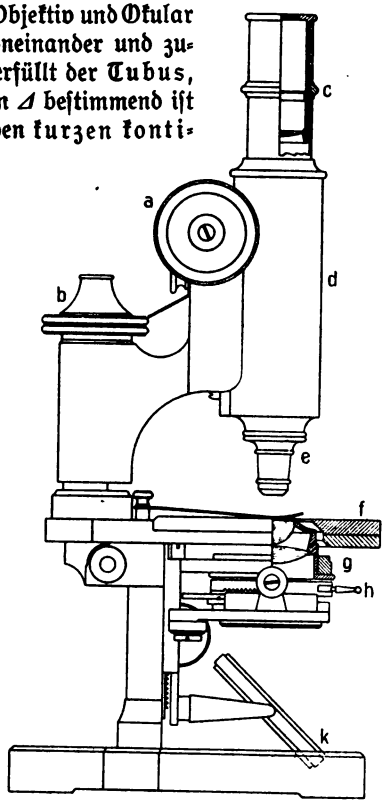



Fig. 69. Das Stativ des Mikroskops.
*a* Schraube der groben, *b* der feinen Einstellung, *c* Okular (Huygensisches), *d* Tubus, *e* Objektiv, *f* Objekttisch, *g* zweilinsiger Kondensor, *h* Griff der Irisblende, *k* Spiegel zur Regulierung der Beleuchtung.

gänzt durch die Feineinstellung. Damit lassen sich, sei es mittels einer Mikrometerschraube oder eines Hebelwerks außerordentlich kleine Hebungen und Senkungen (meßbar bis zu 2 $\mu$ herab) ausführen. Unter dem Objekttisch ist der Beleuchtungsapparat angebracht, der bloß aus einem Planspiegel bestehen kann, meistens aber durch ein katadioptrisches Kondensorsystem gebildet wird.

h) Die binokularen Mikroskope. Wenn bisher ausschließlich die unokularen Mikroskope besprochen worden sind, so liegt das an ihrer ganz überwiegenden Bedeutung für die Forschung. Man kann aber auch dieses Instrument für das beidäugige Sehen geeignet machen, sei es daß man beiden Augen identische Bilder darbietet, ein Verfahren, das manchem Benutzer die Beobachtung außerordentlich erleichtert, oder daß man eine stereoskopische Reliefwahrnehmung erstrebt. Das meistens angewandte Mittel, um stereoskopische Bilder zu erhalten, besteht darin, daß man die rechte und linke Hälfte des Objektivs gesonderte Bilder entwerfen läßt, die dem rechten und dem linken Auge dargeboten werden. Die Spaltung der Strahlenbüschel erfolgt entweder mechanisch dicht hinter dem Objektiv durch brechende oder spiegelnde Prismenkombinationen (F. H. Wenham, A. Nachet) oder durch teils durchlässige und teils reflektierende Schichten (E. Abbes stereoskopisches Okular). Für schwache Vergrößerungen besteht aber auch die Möglichkeit, jedes Auge mit einem besonderen Mikroskop zu versehen, die beide auf denselben Punkt des zu untersuchenden Objekts gerichtet sind. Bei einem solchen Instrument erhält man stets einen körperhaften Eindruck. Schon die älteste Form des binokularen Mikroskops (von Chérubin d'Orléans) war so beschaffen, und in neuerer Zeit hat man dem Greenoughschen binokularen Mikroskop diese Einrichtung gegeben. Ein stereoskopischer unmittelbar auf die Raumgliederung der Objektseite zu übertragender Eindruck ist nur für schwache Vergrößerungen möglich, weil nur schwache Objektive eine genügende Tiefe haben, um auch uneingestellte Objektteile erkennen zu lassen.

i) Die Verwendung des Mikroskops bei der Projektion und der Mikrophotographie. Bereits bei der Besprechung der Projektionsapparate und des photographischen Objektivs wurde darauf hingewiesen (S. 63), daß man das eigentlich zu subjektivem Gebrauche bestimmte Mikroskop auch zu objektiver Vergrößerung verwenden könne.

Am einfachsten läßt sich dieser Gebrauch bei der Projektion erläutern (s. S. 78). Es bietet sich hier die Möglichkeit, einer Reihe von Zuschauern ein Präparat gleichzeitig zeigen und beschreiben zu können. Den Zwecken der Forschung dient das Projektionsmikroskop eben nicht, sondern vornehmlich denen des Unterrichts. Zu dem, was vorher über Auflösungsvermögen und Strahlengang gesagt wurde, braucht nicht viel hinzugefügt zu werden. Die Vergrößerung $[N]$ ändert sich bei der Projektionsdistanz D entsprechend. Bei der Ableitung der Vergrößerungszahl würde man zweckmäßig von der Okularvergrößerung ausgehen, der das Objektivbild unterworfen wird. Bei der Ermittelung der Beleuchtungsstärke auf dem Schirme muß beachtet werden, daß die ein Objektelement durchsetzende Lichtmenge sich nachher auf ein Bildelement verteilt, dessen Flächeninhalt $[N]^2$ mal so groß ist wie der des Objektelements, ferner wird nur ein verhältnismäßig kleiner, von der Beschaffenheit des Schirmes abhängiger Teil nach allen Seiten weitergestrahlt. Die Vergrößerung, unter der das kleinste Detail dem Zuschauer sichtbar wird, hängt von dessen Abstande D von dem Projektionsschirme ab; wäre sein Auge am Orte $P'$ der Austrittspupille des Okulars, also $D = D$, so würde die Vergrößerung der gleichkommen, die der Zuschauer beim subjektiven Gebrauche des Mikroskops erhalten würde; ist $D > D$, so erscheint das Bild dem Zuschauer entsprechend kleiner. Jedenfalls muß $\frac{[N]d}{D}$ größer sein als tg 1′ oder $\frac{1}{3438}$, wenn die kleinsten Einzelheiten $d$ unbewaffneten Augen überhaupt noch wahrnehmbar sein sollen. Die Verwendung der gewöhnlichen Okulare aus einfachen Linsen ist möglich, doch hat man gleichzeitig mit den Apochromaten die besonders chromatisch gut korrigierten Projektionsokulare herausgebracht.

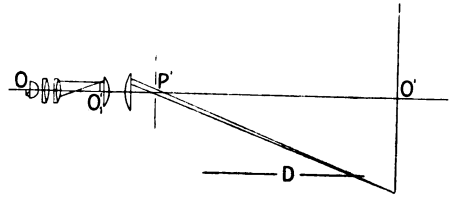


Fig. 70. Ein Schema für das Projektionsmikroskop.

Anders steht es mit der Verwendung des Mikroskops in der Mikrophotographie: hier tritt die Erweiterung der Forschungsmöglichkeiten namentlich in der neuesten Zeit in den Vorder-

grund, obwohl auch die Bedeutung für Unterrichtszwecke sehr groß ist.

Die Vergrößerung ist hier unter Berücksichtigung des Abstandes der Mattscheibe ganz in der soeben angedeuteten Weise zu behandeln. Eine sehr wichtige Abweichung von dem Vorigen bietet sich hier aber insofern, als man das Auflösungsvermögen sehr merkbar über die Grenzen hinaus steigern kann, die der subjektiven Beobachtung gesteckt sind. Für diese war nach den Auseinandersetzungen auf S. 85 bereits $A = 1{,}60$ eine Grenze gewesen, die man nur in einigen bestimmten Fällen hatte erreichen können. Nach S. 89 war die Grenze der Auflösung für schiefes Licht gegeben durch den Ausdruck 14):

$$d = \frac{\lambda}{2A} = \frac{\lambda}{2n \sin u'},$$

und es war schon darauf hingewiesen worden, daß die Mehrleistung der Immersionssysteme nach dieser Richtung durch die Verkürzung der mittleren Wellenlänge $\lambda$ auf $\frac{\lambda}{n}$ und die damit Hand in Hand gehende Zusammenziehung der Ausdehnung der Beugungserscheinung zu erklären ist. Die starke chemische Wirksamkeit der kurzwelligen Strahlen bietet nun eine sehr günstige Gelegenheit zu einer weiteren Verkürzung der wirksamen Wellenlängen und einer gleichzeitigen Herabdrückung der Ausmaße der kleinsten noch zugänglichen Einzelheiten. Schon in früher Zeit — im Anfang der sechziger Jahre — hatte man erkannt, daß sich das Auflösungsvermögen von Mikroskopobjektiven bei der Beobachtung mit blauem Lichte und bei photographischen Aufnahmen steigere, und man hatte sich auch schon bemüht, die nach S. 93 mangelhafte Korrektion der gewöhnlichen Mikroskopobjektive für blaues Licht zu verbessern. Die Aufhebung der chromatischen Differenz der sphärischen Aberration in den Apochromaten und die Herstellung der sehr farbenfreien Projektionsokulare hätten die Mikrophotographie sehr wirksam fördern können. Konnte man doch im äußersten Falle noch Licht von der Wellenlänge $\lambda = 0{,}448\ \mu$ oder gar $\lambda = 0{,}383\ \mu$ anwenden und damit die kleinsten Einzelheiten auf 0,82 oder gar 0,7 des der subjektiven Beobachtung zugänglichen Wertes herabdrücken. Trotz dieser von den Apochromaten gebotenen Vorteile ist aber die Möglichkeit, die Leistungen durch photographische Aufnahmen zu steigern, nicht sehr häufig

ausgenutzt worden. Noch weiter kann man kommen, wenn man für die Aufnahmen ganz kurzwellige, im ultravioletten Gebiete liegende Strahlen benutzt, die auf das Auge überhaupt nicht mehr wirken. Dieser Weg ist in der Zeißischen Werkstätte und namentlich von A. Köhler beschritten worden. Ursprünglich schien der Umstand ein Hindernis zu bieten, daß die gewöhnlich gebrauchten Glasarten für Licht einer so kurzen Wellenlänge ganz undurchlässig sind, doch gelang es glücklicherweise, dem Bergkristall (Quarz) durch Erhitzung seine kristallinische Struktur zu nehmen, ohne seine hohe Durchlässigkeit für Strahlen kurzer Wellenlänge zu beeinträchtigen. Die Mikroskopobjektive, Monochromate, die zu solchen Aufnahmen dienen, bestehen ganz aus Quarz, und zeigen keine chromatische Korrektion (Monochromate = Einfarbensysteme), weil die Aufnahmen mit ganz einfarbigem Lichte gemacht werden. Solches liefern elektrische Funkenentladungen zwischen Kadmium- oder zwischen Magnesiumelektroden. Aus dem unterbrochenen, aus einzelnen Linien bestehenden Spektrum dieses Funkenlichts wurden die Linien ausgewählt, die bei $\lambda = 0{,}275\ \mu$ und $0{,}280\ \mu$ liegen. Da es gelungen ist, die Monochromate als homogene Immersionen mit etwa 1,30 Apertur auszuführen, so ist damit die Grenze der Auflösung auf

$$d = \frac{0{,}275\ \mu}{2 \times 1{,}3} = 0{,}106\ \mu$$

gebracht und die Grenze der Erkennbarkeit so weit herabgedrückt, daß es selbst gegenüber den nicht überall anwendbaren Monobromnaphthalinimmersionen, wo:

$$d = \frac{0{,}55\ \mu}{2 \times 1{,}6} = 0{,}172\ \mu$$

ist, einen bemerkenswerten Vorteil (von 1,0 auf 0,62) bedeutet. Anderen Systemen geringerer Apertur gegenüber ist der mit dieser Zeißischen mikrophotographischen Einrichtung für ultraviolettes Licht erreichbare Vorteil entsprechend größer. Um die Steigerung des Auflösungsvermögens einfach zu bezeichnen, hat A. Köhler den mit dem Verhältnis der benutzten Wellenlänge zu $0{,}55\ \mu$ multiplizierten Wert der numerischen Apertur als relatives Auflösungsvermögen r. A. eingeführt, so daß dem hier besprochenen Objektiv ein

$$\text{r. A.} = 1{,}30 \cdot \frac{0{,}55\ \mu}{0{,}275\ \mu} = 2{,}6$$

zukommt.

Betrachtet man die Photogramme mit bloßem Auge aus einem kleineren Abstande als der Schirmdistanz D, so erhält man eine Erhöhung der Vergrößerungszahl über den [N] entsprechenden Wert. Abgesehen von der eben besprochenen Steigerung des Auflösungsvermögens hat die Betrachtung der Photogramme noch den Vorteil, daß die Deutlichkeit der entoptischen Erscheinungen (s. S. 92) nicht erhöht wird.

Bei der Ausarbeitung der ziemlich subtilen Bedienung der mikrophotographischen Einrichtung machte A. Köhler die wichtige Entdeckung, daß bestimmte Teile von organischen Gebilden das ultraviolette Licht sehr stark absorbieren, während es andere durchlassen, so daß frische ungefärbte Schnitte auf dem Photogramm den Charakter von gefärbten Präparaten zeigen. „Dieses „Verhalten kann in ähnlicher Weise wie das Vermögen, gewisse „Farbstoffe aufzuspeichern, zur Charakterisierung dieser Gewebs„bestandteile und zur Kontrolle der durch die Färbungsmethoden „erlangten Ergebnisse dienen."

j) Die Instrumente zur Betrachtung von Körperhöhlen. — Das Kystoskop (der Blasengucker) wurde von dem Mediziner M. Nitze in den siebziger und achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts unter Mitwirkung des Berliner Optikers L. Bénèche entwickelt. Man betrachtet mit diesem Instrument durch die Harnröhre hindurch das Innere der mit Borsäurelösung angefüllten Blase. Allen Kystoskopen ist ein eigenes Beleuchtungssystem (ein Metallfadenlämpchen) beigegeben, das mit in die Blase eingeführt wird, und eine Spiegeleinrichtung, wodurch die das Instrument durchsetzenden Strahlen an der Eintrittspupille um 90° abgelenkt werden. Bei den vollkommneren Instrumenten ist für eine doppelte Spiegelung gesorgt, so daß die vom Kystoskop entworfenen Bilder keine Spiegelverkehrung zeigen. Die dioptrische Ausrüstung enthält ein Objektivsystem mit sehr großem Gesichtswinkel (60 bis 90° Luftwert), ein Umkehrsystem mit einfacher oder doppelter Umkehrung und ein Okular mit kleinem Bildwinkel (12 bis 18°). Da also die objekt- und die bildseitigen Hauptstrahlneigungen sehr verschieden sind, so ist allen diesen Instrumenten eine eigentümliche Perspektive (eine ausgesprochene Weitwinkelperspektive s. S. 38) eigentümlich. Die Vergrößerungszahl N hatte bei den älteren Instrumenten einen die Einheit nur eben übersteigenden Wert.

Mit Hilfe der erwähnten optischen Mittel ist es möglich, innerhalb des großen Gesichtswinkels Objekte in der Blase durch eine

Röhre von 25 bis 30 cm Länge und 4 bis 6 mm lichter Weite hindurch zu betrachten. Man muß Instrumente verschiedener lichter Weite haben, weil einmal die Harnröhre nicht bei allen Patienten gleich weit ist, und weil ferner manchmal neben dem optischen Rohr noch mechanische Instrumente zu Operationszwecken eingeführt werden müssen. Die neuesten Verbesserungen (lichtstarke Kystoskopsysteme mit Amicischem Dachprisma und doppelter Umkehrung) sind von dem Berliner Urologen O. Ringleb mit Hilfe von C. Zeiß in Jena gemacht worden. Hier überschreitet bei einzelnen Formen N schon den Wert 4, und das neue Instrument nähert sich damit seiner Leistung nach den schwachen Mikroskopen mit Immersionssystemen, einer Gattung von Instrumenten, denen es seiner Zusammensetzung nach verwandt ist.

Das Laryngoskop (der Kehlkopfgucker) wurde als ein abgeändertes Kystoskop mit eigener Beleuchtungsvorrichtung zuerst von dem amerikanischen Arzt H. Hays vorgeschlagen, um den früher allein gebräuchlichen Kehlkopfspiegel zu ersetzen. Die neuesten Verbesserungen dieses Instruments gehen auf den Berliner Laryngologen Th. S. Flatau zurück. Es handelt sich um ein 15 bis 17 cm langes Instrument für Objekte in Luft. Die Rohrweite ist ähnlich wie beim Kystoskop.

Das Gastroskop (der Magengucker) beginnt sich allmählich aus dem Kystoskop zu entwickeln, doch ist die endgültige Form noch nicht gefunden worden.

## 4. Die Teleskope.

Das zweite zusammengesetzte Instrument zu subjektivem Gebrauche, das Teleskop oder Fernrohr, sieht auf ein noch höheres Alter zurück als selbst das Mikroskop. Da es dazu bestimmt ist, dem normalsichtigen Auge weit entfernte Objekte wieder in weiter Entfernung aber unter einem größeren Gesichtswinkel darzubieten, so ergab sich hier die Zusammensetzung aus zwei besonderen Bestandteilen, dem Objektiv und dem Okular, gleichsam von selbst. Ebenso wie beim Mikroskop wird es sich auch hier als zweckmäßig erweisen, die Wirkungsweise der beiden Bestandteile gesondert zu behandeln.

a) Die Lagen- und Größenbeziehung. Das Objektiv möge eine Brennweite $f_1$ haben. Alsdann wird nach S. 35 ein fernes, unter dem Gesichtswinkel $w$ erscheinendes Objekt in der bildseitigen

Brennebene des Objektivs mit einer Größe $y_1'$ abgebildet, die sich ermittelt aus

$$\frac{\operatorname{tg} w}{y_1'} = \frac{1}{f_1}. \tag{17}$$

Läßt man nun die vordere Brennebene eines Okulars von der positiven Brennweite $f_2$ mit der hinteren Brennebene des Objektivs zusammenfallen, so werden die dort entstandenen Bilder durch das Okular im Unendlichen unter den Gesichtswinkeln $w'$ abgebildet, und zwar ergibt sich der zu einem bestimmten $y_1'$ gehörige Bildwinkel $w'$ aus

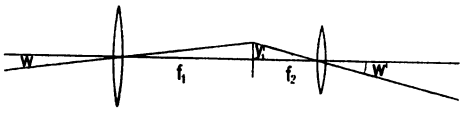



Fig. 71. Zur Ableitung der Vergrößerung V des astronomischen Fernrohrs aus den Brennweiten von Objektiv und Okular.

$$\frac{\operatorname{tg} w'}{y_1'} = \frac{1}{f_2'}. \tag{18}$$

Für den Benutzer ist zunächst das Objektivbild $y_1'$ von keinem besonderen Interesse, und man erhält durch Division der beiden Gleichungen ineinander die wichtige Beziehung für die Vergrößerung V

$$V = \frac{\operatorname{tg} w'}{\operatorname{tg} w} = \frac{f_1}{f_2'}. \tag{19}$$

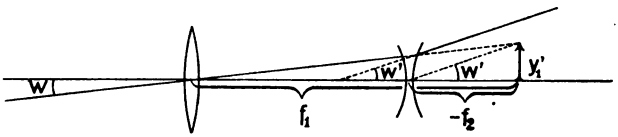



Fig. 72. Zur Ableitung der Vergrößerung V des holländischen Fernrohrs aus den Brennweiten von Objektiv und Okular.

Es liegt indessen auch die Möglichkeit vor, daß die Okularbrennweite ein negatives Zeichen ($-f_2$) hat, und eine solche Verbindung von sammelndem Objektiv und zerstreuendem Okular wird als holländisches oder Galileisches Fernrohr noch eingehender behandelt werden. In diesem Falle wird für das Objektiv nichts geändert, so daß 17) besteht, dagegen ergibt sich aus der Fig. 72, wenn $y_1'$ wieder das Objektivbild bezeichnet, für das negative Okular die Beziehung

$$\frac{\operatorname{tg} w'}{y_1'} = -\frac{1}{f_2''}. \tag{20}$$

und es folgt wie vorher durch Division

$$21) \qquad V = \frac{\operatorname{tg} w'}{\operatorname{tg} w} = -\frac{f_1}{f_2'}.$$

Die Vergrößerung V eines Fernrohres ist also gegeben durch das Verhältnis der Objektiv- zur Okularbrennweite. Da es sich in der Praxis fast nie um verkleinernde Fernrohre handelt, so sei im folgenden stets $f_1 > f_2$ angenommen. Es ist nun nur noch ähnlich wie auf S. 68 über die aufrechte oder umgekehrte Lage des fernen Bildes zu handeln. Man erkennt danach und aus den Fig. 71 und 72, daß es sich beim astronomischen Fernrohr um ein umgekehrtes, beim holländischen um ein aufrechtes Bild handelt. In dem Ausdruck 19) und 21) für V macht sich das durch das positive Zeichen im ersten, durch das negative im zweiten Falle kenntlich.

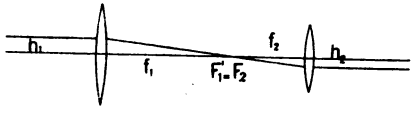


Fig. 73. Zur Ableitung der Vergrößerung V des astronomischen Fernrohrs aus den Achsenabständen konjugierter achsenparalleler Strahlen.

Die Feststellung der Brennweiten ist nicht immer sehr bequem, und es ist daher vorteilhaft, sie durch leichter zugängliche Längen zu ersetzen. Das geschieht nach dem nebenstehenden Schema, aus dem ohne weiteres hervorgeht, daß auch die Achsenabstände $h_1$ und $h_2$ ein- und austretender konjugierter Strahlen in demselben Verhältnis stehen wie die Brennweiten. Genau dasselbe Verhältnis der Eintritts- und Austrittshöhen ergibt sich aus der Fig. 74 für das holländische Fernrohr. Aus diesen Figuren 73 und 74 leuchtet auch unmittelbar ein, daß dann die Anzahl der in einem bildseitigen Strahlenzylinder enthaltenen Strahlen $\left(\frac{h_1}{h_2}\right)^2 = V^2$ mal so groß ist, als die Anzahl der in einem objektseitigen Strahlenzylinder desselben Durchmessers enthaltenen.

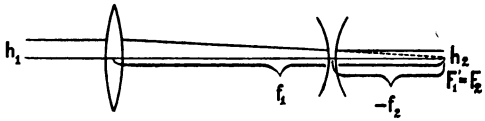


Fig. 74. Zur Ableitung der Vergrößerung V des holländischen Fernrohrs aus den Achsenabständen konjugierter achsenparalleler Strahlen.

b) Die Strahlenbegrenzung. Der Hauptstrahl äußerster Neigung $\bar{w}$, $\bar{w}'$, der noch ein Fernrohr passieren kann, bestimmt sein

objektseitiges oder wahres Gesichtsfeld zu $2\bar{w}$ und sein bildseitiges oder scheinbares zu $2\bar{w}'$. Die Begrenzung des Gesichtsfeldes ist dann scharf, wenn die Austrittsluke (s. S. 8) im Unendlichen, und unscharf, wenn sie im Endlichen liegt. Beide Fälle kommen vor: der erste bei den aus Sammelsystemen gebildeten astronomischen und terrestrischen Fernrohren, der zweite bei den holländischen Fernrohren, wo diese Luke das vom Okular entworfene Bild der Objektivfassung ist.

Stellt man durch Messung $\bar{w}'$ fest, so ist $\bar{w}$ mittels der Beziehung 19) oder 21)

$$\mathfrak{V} = \frac{\operatorname{tg} \bar{w}'}{\operatorname{tg} \bar{w}}$$

leicht zu finden. Oft setzt man auch mit angenäherter Gültigkeit

22) $$2\bar{w}' : \mathfrak{V} = 2\bar{w}$$

d. h. in Worten: das wahre Gesichtsfeld ist angenähert gleich dem durch die Vergrößerung dividierten scheinbaren Gesichtsfelde. Daß man dabei keine größeren Fehler macht, liegt daran, daß $2\bar{w}'$ auch bei den besten Okulartypen den Betrag von $50^0$ nur eben erreicht.

Befänden sich die Objekte alle auf einer weit entfernten Ebene, so wäre zur Strahlenbegrenzung keine weitere Angabe zu machen, als die, ob das Fernrohr das natürliche direkte Sehen mit bewegtem Auge gestatte, oder ob die Schlüssellochbeobachtung eintreten müsse. Und so verhält es sich tatsächlich bei den astronomischen Fernrohren. Bei der weit verbreiteten Klasse der terrestrischen oder Erdfernrohre aber liegen die Objekte zwar fern aber doch nicht in einer Ebene, und daher sind hier Perspektive und Tiefe zu berücksichtigen. Die allgemeinen Grundsätze, die dafür in Betracht kommen, wurden schon auf S. 10/11 angegeben, und die besonderen Feststellungen über die Lage und Größe der Eintrittspupille werden bei den einzelnen Fernrohrtypen gemacht werden. Dem Fernrohre im allgemeinen ist aber eigentümlich die unendliche Entfernung der Einstellungsebene, auf der das objektseitige Abbild zu entwerfen ist, und ferner die Vergrößerung der objektseitigen Gesichtswinkel $w$, worin ja gerade das Wesen der Fernrohrvergrößerung besteht. Nach den Auseinandersetzungen auf S. 27 ist dadurch eine Änderung der Perspektive bedingt. Bei den von Einzelfernrohren gelieferten Bildern körperlich ausgedehnter Objekte tritt in der Regel eine Abflachung ein, die der Vergrößerung $\mathfrak{V}$ des Fernrohrs ent-

spricht, doch findet sich bei geeigneten Objekten (rasch nach hinten verlaufenden Fensterreihen, Backsteinschichten) eine scheinbare Vergrößerung des Hintergrundes.

c) Die Strahlungsvermittelung. Solange das Fernrohr für die Wiedergabe von flächenhaft ausgedehnten Objekten verwandt wird, deren scheinbare Größe einen endlichen Wert hat, wird die Helligkeit nur dann wesentlich vermindert, wenn die Austrittspupille des Fernrohrs kleiner ist als die Augenpupille. Ist das nicht der Fall, so treten, wie soeben gezeigt wurde, von jedem Punkte der weit entfernten Fläche $V^2$mal so viel Strahlen in das Auge, aber auch die scheinbare Ausdehnung des Objekts ist auf das $V^2$fache gebracht worden, so daß sich schließlich dieselbe Helligkeit ergibt wie für das unbewaffnete Auge. Erst dann, wenn die Augenpupille $2\Pi$ nicht mehr von dem austretenden Strahlenzylinder $2h_2$ ausgefüllt wird, nimmt die Helligkeit ab, und zwar auf $\left(\frac{h_2}{\Pi}\right)^2$ der für das unbewaffnete Auge geltenden. Ganz anders aber liegen die Verhältnisse, wenn es sich nicht um flächenhafte, sondern um punktmäßige Objekte handelt. Dazu gehören namentlich die Fixsterne, deren Entfernung von der Erde so ungeheuer groß ist, daß sie auch bei der stärksten Fernrohrvergrößerung nur als Punkte wahrgenommen werden können. In diesem Falle werden alle auf das Objektiv fallenden Strahlen $C \cdot (h_1)^2$ auf einem einzigen Empfindungselement der Netzhaut vereinigt, das vom unbewaffneten Auge doch nur $C \cdot (\Pi)^2$ Strahlen erhalten würde. Die Steigerung der Helligkeit von Fixsternbildern ist also durch den Bruch $\left(\frac{h_1}{\Pi}\right)^2$ gegeben. Man ersieht daraus ohne weiteres, welche große Bedeutung für die Erkennbarkeit von Sternbildern der Steigerung des Objektivdurchmessers zukommt. Führt man ein Beispiel an, so sei ein größeres Fernrohrobjektiv von $2h_1 = 60$ cm Durchmesser angenommen, während der Pupillendurchmesser bei der Betrachtung des Fixsternhimmels auf $2\Pi = 6$ mm angeschlagen sei. Alsdann ist $h_1 : \Pi = 100$, und die Helligkeitssteigerung bei der Betrachtung von Fixsternen eine 10000fache. Während ein ungewöhnlich gutes Auge unbewaffnet noch Sterne der 5. bis 6. Größenklasse erkennt, vermag man durch ein solches Fernrohr unter günstigen Umständen (guter Luftbeschaffenheit, so daß die Bilder nicht schwanken), noch Sterne der 15. bis 16. Klasse wahrzunehmen.

Eine gewisse Änderung erfahren diese Festsetzungen über die Helligkeit entsprechend den allgemeinen Bemerkungen auf S. 11 durch die Verluste, die infolge der Reflexion und der Absorption eintreten.

Unter den Ausführungsformen der Fernrohre sind zwei Klassen zu unterscheiden.

d) Die holländischen oder Galileischen Fernrohre. Ein solches Instrument besteht — ähnlich wie das auf S. 54 behandelte photographische Teleobjektiv — aus einem Sammelsystem langer Brennweite $f_1$ als Objektiv und einem stärkeren Zerstreuungssystem $f_2$ als Okular. Innenblenden, die bei manchen Instrumenten vorkommen, seien hier unberücksichtigt gelassen. Schon auf S. 110 war bemerkt worden, daß hier das vom Okular entworfene Bild der Objektivfassung die Austrittsluke abgibt. Das Auge hat also unmittelbar vor sich die Fassung der Negativlinse und dahinter das unzugängliche, virtuelle Bild der Fassung des Objektivs, durch das wie durch ein rundes Fenster die Gegenstände wahrgenommen werden, die im Gesichtsfelde des Rohres liegen.

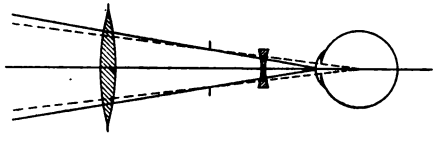


Fig. 75. Eine schematische Darstellung des scheinbaren Gesichtsfeldes im holländischen Fernrohr. — für das ruhende Auge (im indirekten Sehen), — — für das bewegte Auge (im direkten Sehen).

In dem dargestellten Falle eines aus einfachen Linsen ($f_1 = 6$ cm, $2h_1 = 3$ cm; $f_2 = -2$ cm, $2h_2 = 1$ cm) zusammengesetzten holländischen Fernrohrs dreifacher Vergrößerung sei ein 12 mm betragender Abstand zwischen dem Hornhautscheitel und der letzten Okularfläche angenommen, so daß die Entfernung zwischen Pupillenmitte und Okularfläche 15 mm und die zwischen der Pupillenmitte und dem auf $^1/_3$ (also 1 cm) verkleinerten Fassungsbild des Objektivs 28,3 mm beträgt. Dann handelt es sich für die hier gewählten Linsendurchmesser bei einer Beziehung der Gesichtswinkel auf die Pupillenmitte um ein scheinbares Gesichtsfeld von 20°. Es ist aber ganz unmöglich, dabei den Rand des Gesichtsfeldes deutlich zu sehen; das könnte nur geschehen, wenn man an den Ort der Pupille eine Blende stellte, und dann durch sie wie durch ein Schlüsselloch nach den seitlichen Objekten blickte. Da diese Einrichtung nicht getroffen wird, so dreht sich

das Auge um seinen Drehpunkt und beschreibt in diesem Falle einen Winkel von nur 7,5°. Das direkt übersehbare Gesichtsfeld beträgt also — wieder für die hier gewählten Linsendurchmesser — nur etwa 15°, weil der Augendrehpunkt weiter von dem Bilde der Objektivfassung entfernt ist als die Mitte der Augenpupille. Diese Benutzung des holländischen Fernrohrs tritt ein, weil die Austrittspupille des Instruments unzugänglich ist, aber doch dem Auge unter einem verhältnismäßig großen Sehwinkel erscheint.

Ist also festgestellt, daß für das mit dem Auge verbundene holländische Fernrohr der Augendrehpunkt die Austrittspupille ist, soweit es sich um das direkte Sehen handelt, so ist nur noch der auf der Objektseite konjugierte Punkt aufzusuchen, der dann als Eintrittspupille dient. Die von diesem meist mehrere Dezimeter hinter der Objektivfassung liegenden Punkte ausgehenden Hauptstrahlen bestimmen für das kleine objektseitige Gesichtsfeld die Perspektive, die dann unter den größeren bildseitigen Gesichtswinkeln dem Auge dargeboten wird. Infolgedessen müssen, den allgemeinen Angaben auf S. 27/28 und den besonderen auf S. 110 entsprechend, die Gegenstände von bekannten Höhen- und Breitenverhältnissen auf 1/D ihrer Tiefenerstreckung abgeflacht[1]) erscheinen.

Was die Strahlungsvermittlung angeht, so ist bei den gebräuchlichen holländischen Fernrohren schwacher Vergrößerung die Austrittspupille des Instruments immer größer als die Augenpupille. Soweit kein Vignettieren eintritt, erscheinen nach S. 111 flächenhaft ausgedehnte Objekte also nur lichtschwächer wegen der Verluste durch Absorption und Reflexion, und die darauf zurückgehenden Beträge sind bei der geringen Anzahl von Flächen gegen Luft und bei den geringen Linsendicken der Bestandteile von keiner großen Bedeutung. Die Lichtstärke ist sogar ein Hauptvorzug der holländischen Fernrohre, und sie ist für die Wahl dieses Typus entscheidend, wo es sich um sehr lichtschwache Objekte handelt, wie bei denen der Theatergläser und der Nachtgläser für die Marine. Für den Rand des Gesichtsfeldes, wo sich die Augen-

1) Dieser häufig übersehene Umstand tritt sehr auffällig hervor, wenn man durch ein holländisches Einzelfernrohr einmal von der Objektiv- und dann von der Okularseite hineinsehend ein passendes Objekt, etwa eine Straße, betrachtet. Im ersten Falle hat man dann eine Vertiefung, im zweiten eine Abflachung bekannter Objekte.

pupille nicht mehr vollständig in das Bild der Objektivfassung projiziert, ergibt sich, eben infolge dieses Vignettierens, eine allmählich bis auf Null abnehmende Helligkeit. Für die Verwirklichung der Abbildung muß eine genügende Freiheit von chromatischen und sphärischen Aberrationen gefordert werden, doch sind die Ansprüche nicht groß, weil es sich meistens um schwache Vergrößerungen handelt. Die Fehler schiefer Büschel, namentlich des Astigmatismus und der Verzeichnung sollten für einen mindestens 25 mm hinter der letzten Okularfläche gelegenen Punkt gehoben werden, damit man beim Gebrauche den Augendrehpunkt an diese Stelle bringen kann.

Auf das holländische Fernrohr (Perspektiv) suchte bereits 1608 der Middelburger Brillenschleifer Johann Lipperhey ein Patent zu erhalten. G. Galilei soll es im Jahre darauf auf die erste ihm zugegangene Nachricht von der Herstellung eines Fernrohrs neu konstruiert haben, er hat es auch gleich zu erfolgreichen astronomischen Forschungen verwandt. Wegen seiner Kürze und seines geringen Gewichtes wurde es aber besonders häufig zu terrestrischen Beobachtungen benutzt, wofür es sich auch wegen seiner aufrechten Bilder besonders eignete. Über Verbesserungen an diesem Instrument wird lange Zeit nichts berichtet, doch mag die Achromasie des Objektivs früh durchgeführt worden sein. Ein größerer Fortschritt wurde 1843 von J. Petzval gemacht, und zwar besaß dieser Typus ein aus je drei Linsen zusammengesetztes Objektiv und Okular, womit ein größeres Gesichtsfeld erreicht wurde. Heutzutage werden die schwach (etwa zwei- bis dreifach) vergrößernden Theatergläser (Operngucker) mit einfachen Okularen ausgeführt, während man den stärker vergrößernden Instrumenten (Krimstechern; nach den im Krimkriege benutzten Instrumenten benannt) nicht selten korrigierte Okulare gibt. Ihr Anwendungsgebiet ist aber durch die Ausbildung der später zu erwähnenden Prismenfernrohre sehr eingeschränkt worden.

e) Die astronomischen Fernrohre. Wie sich schon aus der Fig. 73 ergab, werden beim Fernrohr Objektiv und Okular mit dem gleichen Öffnungswinkel benutzt, doch ist die Brennweite des Objektivs unter allen Umständen größer als die des Okulars. Sucht man die Bildfehler jedes dieser beiden Systeme in der gemeinsamen durch $F_1' = F_2$ gehenden Ebene auf, so werden infolge des Größenverhältnisses der Brennweiten die auf das Objektiv zurückzuführenden Zerstreuungskreise die des Okulars an

Größe übertreffen, und dasselbe wird von der scheinbaren Größe dieser durch das Okular in das Unendliche projizierten Abweichungen gelten. Es ist verständlich, daß es meistens keinen Zweck hat, stärkere Okulare anzuwenden als solche, bei denen die Abbildungsfehler unter dem Betrage der angularen Sehschärfe bleiben. Die Leistungsfähigkeit des Fernrohrs wird also im wesentlichen von der Korrektion des Objektivs abhängig sein.

Was nun die Strahlenvereinigung im Fernrohrobjektiv angeht, so ist die Hebung der chromatischen Fehler hier von einer ganz besonderen Bedeutung. In der Kindheit des Fernrohrs, als man die Farbenfreiheit noch nicht herbeizuführen verstand, war man auf außerordentlich lange Brennweiten (s. S. 118) angewiesen, wenn die Farbenfehler unschädlich bleiben sollten. Als schließlich durch die Arbeiten von Chester Moor Hall und J. Dollond die Farbenkorrektion erreicht war — nach S. 45 wurde stets optisch achromatisiert —, blieb bei den zur Verfügung stehenden Glasarten ein sekundäres Spektrum übrig, das ebenfalls, wenn nicht die Farbensäume gar zu sehr überhandnehmen sollten, zur Ausführung großer Objektive mit einem kleinen Öffnungsverhältnis zwang. Bei den großen Durchmessern astronomischer Fernrohrobjektive ist eine Heranziehung des Flußspats wie beim Mikroskop ausgeschlossen, und man war somit gezwungen, nach Glaspaaren zu suchen, die einen besser übereinstimmenden Gang der Dispersion hatten. Dies ist für das Fernrohr dem Glaswerke von Schott & Gen. namentlich in den letzten Jahren gelungen durch die Einführung der Glaspaare Fernrohrkron und Fernrohrflint. Die Aufhebung der chromatischen Differenz der sphärischen Aberration (S. 93) gelang beim Fernrohr schon dem Göttinger Mathematiker C. F. Gauß.

Die Hebung der sphärischen Aberrationen erfordert bei großen Fernrohrobjektiven namentlich eine gute Strahlenvereinigung im Brennpunkte, weil bei ihnen das von den Okularen abgebildete Feld nur klein ist. Die Erfüllung der Abbeschen Sinusbedingung (damit sich die Mittelschärfe auch seitlich zur Achse ausdehne) macht bei den kleinen Öffnungswinkeln $u'$ keine bedeutenden Abweichungen von dem durch die allgemeine Abbildungstheorie geforderten konstanten Tangentenverhältnis notwendig. Bei Fernrohren schwacher Vergrößerung wird von dem Objektiv ein Feld von größerer Winkelausdehnung verlangt, und dann müssen auch

die Fehler der schiefen Büschel, wie Astigmatismus und Bildkrümmung, berücksichtigt werden.

Hinsichtlich der Strahlenvereinigung im Fernrohrokular sei bemerkt, daß die älteren astronomischen Fernrohre mit den gleichen Okulartypen versehen wurden, die bereits beim Mikroskop S. 98/99 besprochen worden sind. Es sind das das Ramsdensche und das Huygensische Okular, und sie ergeben, wie erwähnt, umgekehrte Bilder. Sie sind verwendbar, wenn kein zu großes Gesichtsfeld ($2w' \leq 40^0$) von ihnen verlangt wird. Ihre chromatische Korrektion beschränkt sich auf die Erreichung gleicher Brennweiten für die verschiedenen Farben: nur für die später zu besprechenden Dialytkonstruktionen hatte man, wie H. Schröder berichtet, die ersten Kompensationsokulare herstellen müssen, bei denen ebenso wie bei den für die Mikroskope bestimmten die rote Brennweite kürzer war als die blaue. — Von den Fehlern schiefer Büschel lassen sich der Astigmatismus und die Bildfeld-

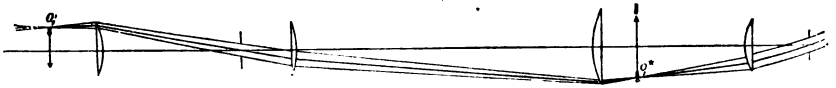



Fig. 76. Ein terrestrisches Okular.

krümmung bei diesen Typen leidlich heben, während eine kissenförmige Verzeichnung bestehen bleibt. Diese wurde zuletzt von C. Kellner beim Ramsdenschen Okular durch die Einführung einer zweiteiligen Augenlinse aufgehoben. — Soll ein besonders großes Gesichtsfeld erreicht werden, oder wächst das Öffnungsverhältnis infolge größerer Stärke des Okulars, so greift man zu komplizierteren Konstruktionen. Als Beispiel sei das orthoskopische (verzeichnungsfreie) Okular angeführt, das den Kompensationsokularen äußerlich ähnlich sieht.

Handelt es sich um Erdfernrohre, so muß im terrestrischen Okular für die Aufrichtung des Objektivbildes gesorgt werden, und das geschieht durch die Anwendung eines besonderen Umkehrsystems. Das dadurch umgekehrte Objektivbild wird nun dem eigentlichen Okular dargeboten, und es erscheint dann aufrecht und in weiter Entfernung. Werden höhere Anforderungen, sei es an die Größe des Gesichtsfeldes oder des Öffnungsverhältnisses gestellt, so muß die Zusammensetzung komplizierter werden. Man wendet dann zwei- oder mehrteilige Umkehrsysteme und Augenlinsen an. Die Bildumkehrung durch ebene Spiegel wird an späterer Stelle behandelt werden.

Die ersten Erdfernrohre scheinen von dem Mönch Antonius Maria Schyrl aus dem Kloster Rheidt um die Mitte des 17. Jahrhunderts gebaut worden zu sein. An der Ausbildung des terrestrischen Okulars haben mehrere Optiker des 18. Jahrhunderts gearbeitet. Eine sehr gute Form geht auf den Münchener Optiker J. Fraunhofer zurück.

Es bleibt nur noch übrig, die Vereinigung von Objektiv und Okular, d. h. die verschiedenen Formen der astronomischen Fernrohre zu behandeln.

Die Reflektoren oder Spiegelinstrumente. Um die chromatischen Fehler der einfachen Objektivlinsen zu vermeiden, zog man im 17. und 18. Jahrhundert vor, das Objektiv durch einen Hohlspiegel zu ersetzen, bei dem Farbenfehler überhaupt nicht auf-

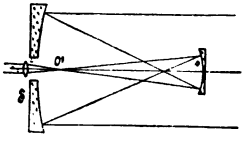


Fig. 77. Der Gregorysche Reflektor.

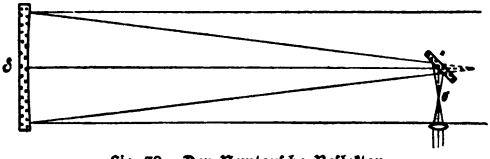


Fig. 78. Der Newtonsche Reflektor.

treten. Ein solcher sphärischer Hohlspiegel bietet für eine ziemlich große relative Öffnung eine ausreichende Strahlenvereinigung in der Achse; die Abbesche Sinusbedingung läßt sich allerdings nicht erfüllen, doch sind Abweichungen von ihr bei einem nicht sehr großen Öffnungsverhältnis und einem kleinen Gesichtsfelde nicht so schädlich, daß das Instrument dadurch unbrauchbar würde. J. Gregory ließ 1661 in seinem Instrument das von dem ersten Spiegel entworfene Bild durch einen zweiten Hohlspiegel vergrößern und gleichzeitig aufrichten, eine Einrichtung, die allseitig mit Beifall aufgenommen wurde. Wie aus der Figur ersichtlich, wurde dabei eine zentrale Durchbohrung des großen Spiegels notwendig. Die Form, die J. Newton 1671 seinem Instrument gab, zeigte einen Hohl- und einen ebenen Spiegel, und man sah von der Seite, ziemlich vom oberen Rohrende aus, in das Fernrohr hinein. Es ist daher häufig die Beigabe eines Richtfernrohrs, Suchers, erwünscht, dessen Achse der des Spiegelteleskops genau parallel ist. Ziemlich zu gleicher Zeit mit J. Newton konstruierte Cassegrain sein mit zwei Hohlspiegeln ausgestattetes System, deren letzter, darin abweichend von der Gregoryschen Einrichtung, eine kon-

vere Krümmung hatte; das Bild war infolgedessen auch umgekehrt. Eine Weiterbildung dieser Konstruktion zum Brachyteleskop ist von K. Fritsch in Wien ausgeführt worden. Hier ist der große Hohlspiegel wie bei der sogleich zu besprechenden Herschelschen Konstruktion etwas gegen die Achse geneigt, und auch der an der Seite des Rohres angebrachte Konvexspiegel steht zur Systemachse schief, damit die durch die Neigung des großen Spiegels eingeführten Fehler schiefer Büschel möglichst ausgeglichen werden. Bei dem eben erwähnten Instrument W. Herschels wurde der Hohlspiegel etwas schief gestellt, um die Reflexion mit ihren Lichtverlusten zu vermeiden, wie sie bei der Newtonschen Anordnung eintritt. Das größte Herschelsche Instrument hatte einen großen Durchmesser ($2h_1 = 1{,}26$ m), dessen Vorteil für die Helligkeit bei der Beobachtung von Fixsternen (S. 111) hervorgehoben wurde. Eine gleich

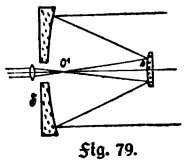


Fig. 79.
Der Cassegrainsche Reflektor.

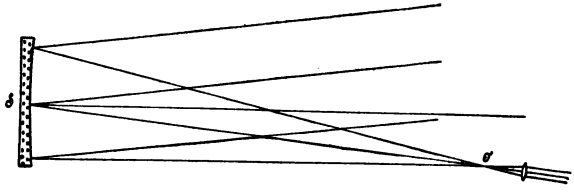


Fig. 80. Der Herschelsche Reflektor.

große Öffnung hat auch der 1867 für Melbourne gelieferte Reflektor von Cassegrainschem Typus, und ein sogar noch größerer Durchmesser findet sich bei dem Riesenfernrohre Lord Rosses mit $2h_1 = 1{,}83$ m. Das Öffnungsverhältnis $2h_1 : f$ beträgt bei diesen großen Reflektoren gewöhnlich 1 : 10.

Die Refraktoren oder Linseninstrumente. Ihre Zusammensetzung aus Linsensystemen von sammelndem Charakter, dem Objektiv und dem Okular, ist schon auf S. 108 beschrieben worden. Der erste, der diese Zusammenstellung angab, war J. Kepler, und nach ihm heißen sie auch Keplersche Fernrohre. Da zu jener Zeit (1611) die Achromatisierung noch nicht bekannt war, so führte man die einfachen Objektive den Erläuterungen auf S. 115 entsprechend mit sehr großen Brennweiten aus: solche von 32 m sind gut beglaubigt, doch werden auch Brennweiten von 195 m angegeben. Da man Fassungen von solcher Länge nicht herstellen konnte, so brachte man das Objektiv neigbar und drehbar an einem Maste an und benutzte ein umständlich zu bewegendes Okular,

ohne das falsche, das Bild sehr schädigende Licht ausschließen zu können. Man bezeichnete diese Einrichtungen als Luftfernrohre (telescopes aëriens). Als den Bemühungen von Chester Moor Hall und J. Dollond die Herbeiführung der Achromasie gelungen war, suchte man bald diese Verbesserung auch auf die astronomischen Objektive anzuwenden, fand aber in der Beschaffung des Glasmaterials große Schwierigkeiten, da einigermaßen homogene Scheiben von größerem Durchmesser einfach nicht zu erhalten waren. Hier wurde Wandel geschaffen durch die Schmelzversuche, die in dem Utzschneiderschen Institut in Benediktbeuren von dem Schweizer Uhrmacher P. L. Guinand begonnen und von J. Fraunhofer erfolgreich fortgeführt wurden. Da J. Fraunhofer auch ein rechnender und ausführender Optiker von höchstem Range war, so gelang ihm die theoretische und technische Vollendung von achromatischen Fernrohrobjektiven beträchtlichen Durchmessers (bis zu $2h_1 = 24$ cm). Die nach seinen Angaben weiterarbeitende Merzsche Werkstätte lieferte Objektive bis zu 43 cm Öffnung. Nach dem frühen Tode J. Fraunhofers faßte die Kunst der Bereitung optischen Glases zuerst in Frankreich, nach 1848 auch in England, festen Fuß, und namentlich von der Pariser Hütte Ed. Feils sind häufig sehr große Glasscheiben für Fernrohrobjektive geschmolzen worden. Die gewaltigen Objektive, die die amerikanische Firma A. G. Clarks herstellte, so eines von 91 cm Öffnung und 17,6 m Brennweite ($2h_1 : f = 1 : 19{,}3$) für die Licksternwarte und eines von $2h_1 = 102$ cm und $f = 18{,}9$ m ($2h_1 : f = 1 : 18{,}5$) für das Yerkesobservatorium, sind mit großer Kunstfertigkeit aus den altgewohnten Glasarten französischer Herkunft angefertigt worden. — 1855 wurde in München von dem bedeutenden Physiker C. A. Steinheil eine optische Werkstätte zunächst für astronomische Fernrohre errichtet, die sich in sehr erfolgreicher Weise mit Berechnung und Ausführung von Fernrohrobjektiven abgegeben hat. Die größten Fernrohre Deutschlands (in Potsdam) mit 50 und 80 cm Durchmesser und $f = 12$ m (also $2h_1 : f = 1 : 24$ und $= 1 : 15$) stammen aus dieser Werkstätte. Bei der Wahl ihrer Linsendurchmesser ist von J. Wilsing der Einfluß der mit der Linsendicke wachsenden Absorption berücksichtigt worden. — Die im Anfang der Schmelztechnik bestehende Schwierigkeit, Flintglasscheiben von genügend großem Durchmesser zu erhalten, brachte den englischen Gelehrten W. Rogers 1828 auf den Gedanken, in seinem Dialyten (etwa Abstandssystem) die Flintlinse von dem Sammel-

gliede zu trennen, und sie an einer Stelle in den Strahlenkegel einzuschalten, wo sein Durchmesser schon stark verringert war. Wie auf S. 116 bemerkt wurde, führte man dadurch eine chromatische Vergrößerungsdifferenz ein, die von dem Wiener Optiker S. Plößl nach langem Probieren durch eine Art Kompensationsokular korrigiert wurde. — Die neuen, vom Jenaer Glaswerke hergestellten Glaspaare mit gleichmäßigem Gange der Farbenzerstreuung wurden um 1886 von S. Czapski zur Berechnung von Fernrohrobjektiven mit vermindertem sekundären Spektrum verwandt, die bei C. Bamberg ausgeführt wurden. Später hat namentlich der englische Optiker H. Dennis Taylor neue dreifache Objektive mit einem Öffnungsverhältnis von 1 : 15 ausgeführt, bei denen sowohl das sekundäre Spektrum als die chromatische Differenz der sphärischen Aberration gehoben ist. Der größte mit diesen neuen Glasarten erreichte Durchmesser beträgt 32 cm.

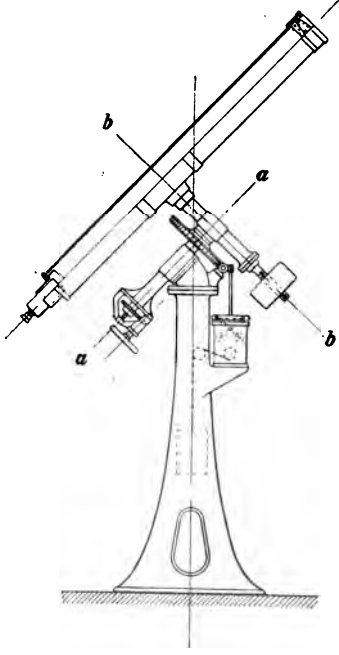


Fig. 81. Die parallaktische Montierung eines Refraktors.

Die Montierung astronomischer Fernrohre. — Das große Gewicht und die bedeutende Länge großer Fernrohre erfordern schon an sich besondere Vorkehrungen für die Aufstellung; ganz besonders notwendig werden sie aber durch den Umstand, daß das auf die Himmelsobjekte gerichtete astronomische Fernrohr an der Drehung der Erde um ihre Achse teilnimmt. Die Fernrohrachse würde daher, wenn sie nicht zufällig gerade parallel zur Erdachse stände, im Laufe von 24 Stunden einen vollständigen Kreiskegel im Raume beschreiben und nach und nach auf alle in der Erweiterung des Kegelmantels gelegenen Objekte gerichtet sein. Dieses Wandern aller Sterne eines Parallelkreises durch das Gesichtsfeld wird nun durch die parallaktische Montierung des Fernrohrs verhindert. Hierbei dreht ein genau gehendes Uhrwerk die der Erdachse parallele Polarachse *aa* in 24 Stunden

einmal in entgegengesetzter Richtung um. Rechtwinklig an ihr sitzt die Deklinationsachse *bb*. Durch die Verbindung zweier Drehungen um beide Achsen (um den Stunden- und den Deklinationswinkel) läßt sich das Fernrohr auf jeden Stern richten und folgt durch die Wirkung des Uhrwerkes seiner scheinbaren Bewegung.

f) Die terrestrischen Fernrohre mit fester und veränderlicher Vergrößerung. Schon bei der Besprechung der terrestrischen Okulare war auf die Notwendigkeit hingewiesen worden, das im astronomischen Fernrohre umgekehrte Bild aufzurichten, wenn es sich um irdische Objekte handelte. Die dort angegebene, im wesentlichen auf J. Fraunhofer zurückzuführende Konstruktion wurde während des größten Teils des 19. Jahrhunderts für terrestrische Fernrohre stärkerer (etwa über 15facher) Vergrößerung angewandt. Für den Gebrauch auf dem Lande konstruierte man der leichteren Tragbarkeit wegen Schieberohre meistens mit drei Auszügen, wobei der letzte das Okularsystem trug. Für den Gebrauch auf der See gab man dem Rohre eine größere Länge, und es war nur dieser letzte Auszug vorhanden. — Alle diese Instrumente lieferten nur eine, meist starke Vergrößerung, so daß sich für die Austrittspupille ein kleiner Durchmesser $2h_2$ ergab. Bei lichtschwachen Objekten war damit eine große Helligkeitseinbuße verbunden, und man kam, da man nicht wie bei den astronomischen Fernrohren einen Satz Okulare anwenden konnte, zur Herstellung von terrestrischen Fernrohren mit veränderlicher Vergrößerung, also auch veränderlichem Durchmesser der Austrittspupille. Solcher gibt es schon seit langer Zeit zwei Klassen, je nachdem die Änderung der Bildgröße durch Veränderungen im Objektiv oder im Okular herbeigeführt wird. Im ersten Falle verwendet man als Objektiv eine Konstruktion nach Art des photographischen Teleobjektivs (S. 54), da hier eine geringe Verschiebung der Negativlinse eine beträchtliche Änderung der Objektivbrennweite ergibt. Da damit aber auch eine Verlagerung des Brennpunktes $F_1'$ verbunden ist, so muß man durch eine entsprechende Verschiebung des ganzen Objektivsystems dafür sorgen, daß Objektiv- und Okularbrennpunkt wieder zusammenfallen. Neuere Vertreter dieses Typus sind die Fernrohre mit veränderlicher Vergrößerung von A. C. Biese. — Im zweiten Falle ändert man im terrestrischen Okular die Vergrößerung des Objektivbildes; es ist verständlich, daß zu gleicher Zeit für eine entsprechende Ver-

schiebung des eigentlichen Okulars gesorgt werden muß. Dieser Typus ist namentlich von H. Schröder ausgearbeitet worden. Die besprochenen Bewegungen werden in der Regel durch mechanische Kuppelung miteinander verbunden, so daß ein allmählicher Übergang zwischen den beiden Grenzwerten der Vergrößerung möglich ist, ohne daß dabei die Schärfe des Bildes leidet.

g) Die Zielfernrohre. Ein ganz besonderer Typus des terrestrischen Fernrohrs bildet sich in den Zielfernrohren heraus, die bei der hohen Vollendung der modernen Handfeuerwaffen mehr und mehr an die Stelle des alten Absehens aus Kimme und Korn treten. Hier handelt es sich um sehr lichtstarke, mit einer Marke (Fadenkreuz) versehene Fernrohre von schwacher (zwei- bis dreifacher) Vergrößerung, die einen ziemlich großen Abstand zwischen Okularfassung und Auge haben müssen, damit der Rückstoß der Waffe das Auge nicht gefährdet. Holländische Fernrohre kann man dazu nicht verwenden, da sich bei ihnen ein Fadenkreuz nur umständlich anbringen läßt, und so hat man denn terrestrische Fernrohre, sei es mit besonderem Umkehrsystem, sei es mit Prismenumkehrung so umgestaltet, daß sich der erforderliche Abstand zwischen der Austrittspupille und der letzten Okularfläche ergab.

Nahe verwandt sind die Richtfernrohre für moderne Geschütze, die für die jetzt möglichen großen Schußweiten notwendig geworden sind. Da man häufig das Ziel vom Geschützort nicht sieht (indirektes Schießen), so tritt die Benutzung eines Hilfsziels ein, und das Richtmittel muß so beschaffen sein, daß seine optische Achse mit der Seelenachse einen beliebigen, genau ablesbaren Winkel bilden kann. Eine besonders vorteilhafte Form des Richtfernrohrs ist das Panoramafernrohr, das auf Grund eines Vorschlags von H. W. Ferris durch H. Korrodi und C. P. Goerz ausgearbeitet worden ist. Es erlaubt, den ganzen Horizont zu bestreichen, ohne daß der Kopf des Zielers eine Bewegung macht; auch bleibt das Bild immer aufrecht.

h) Die Prismenfernrohre. Für die mittleren Fernrohrvergrößerungen (zwischen 6- und 12-fach) bestand lange Zeit eine Lücke, da die holländischen Fernrohre nicht zweckmäßig mit solchen Vergrößerungen ausgestattet werden, und die terrestrischen Fernrohre nur unter Aufwendung großer optischer Mittel bei einer mittleren Vergrößerung handlich genug hergestellt werden können. Diese Lücke wurde ausgefüllt durch die Prismenfernrohre, die zuerst 1850 von dem italienischen Ingenieur J. Porro in Paris

ausgeführt wurden. — Um das Verständnis zu erleichtern, seien einige Worte über die Winkelspiegel vorausgeschickt. Berücksichtigt man, daß Objekt und Bild zur Fläche eines ebenen Spiegels symmetrisch liegen, so ersieht man schon aus der Fig. 82, daß sich für einen rechtwinkligen Winkelspiegel die beiden aufeinander folgenden Reflexionen ersetzen lassen durch eine Rotation des Objekts um die Spiegelachse und zwar um einen Winkel von 180°. — Will man das umgekehrte Objektivbild eines astronomischen Fernrohrs durch rechtwinklige Winkelspiegel umkehren, deren spiegelnde Flächen nicht parallel zur Fernrohrachse liegen, so kann man dazu ein Paar von Winkelspiegeln wählen, deren Achsen sich rechtwinklig kreuzen. Stellt man sich wie in Fig. 83 die erste Achse horizontal vor, so rotiert das Objektivbild in einer vertikalen Ebene und wird mithin aufgerichtet. Zu

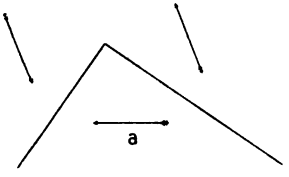



Fig. 82. Die Lage der Bilder in einem rechtwinkligen Winkelspiegel. Das zweimal gespiegelte Bild $a'$ kann aus dem Objekt $a$ durch eine Rotation von 180° um den Spiegelscheitel erhalten werden.

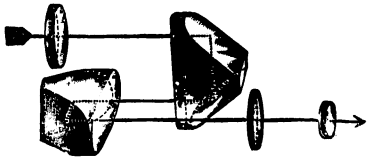


Fig. 83. Die Bildaufrichtung durch ein Paar gekreuzter Winkelspiegel (Porrosches Prismensystem zur Abkürzung der Fernrohrlänge); der Pfeil zeigt die Lichtrichtung vom Objektiv zum Okular an.

gleicher Zeit wird aber auch die Richtung umgekehrt, in der das Bild sichtbar wird: Gingen vor der Spiegelung die Strahlen vom Objektiv aus und zur Okularseite hin, so geht die Endrichtung der gespiegelten Strahlen nun wieder auf das Objektiv zu. Um diese Richtung zu ändern, wendet man noch einen Winkelspiegel, aber mit vertikaler Achse an; dabei rotiert das vorher schon umgekehrte Bild in einer horizontalen Ebene, und — was wesentlich ist — die gespiegelten Strahlen werden wieder auf das Okular gerichtet. — In der Regel werden diese Winkelspiegel durch die Flächen totalreflektierender Prismen gebildet; es kommen aber auch versilberte Prismenflächen vor. Man kann, wie in Fig. 83, die Prismen so in die vom Objektiv kommenden Strahlen stellen, daß infolge der Reflexionen die Strecke zwischen Objektiv und Okular dreimal durchlaufen und so eine bedeutende

Verkürzung der Rohrlänge erzielt wird. Dabei ist die Parallelversetzung der Objektiv- und Okularachse nicht sehr groß. Bei einer anderen, in Fig. 84 dargestellten Form der Prismen kann man diese Achsenversetzung steigern, verzichtet dann aber auf eine wesentliche Verkürzung. — Die Okulare sind nach dem früher erwähnten Kellnerschen Typus gebaut. — Die Porroschen Prismenfernrohre konnten, wie verschiedene vergebliche, namentlich in Paris angestellte Versuche zeigten, nicht regelmäßig hergestellt werden, solange es an einer Glasart fehlte, die lichtdurchlässig, gleichartig und haltbar genug war, um ohne Nachteil für das Objektivbild als Material für das Umkehrsystem zu dienen. Auch hier schuf die Errichtung des Jenaer Glaswerks Wandel, denn das dort hergestellte Borosilikatkron erfüllte die an das Material zu stellenden Ansprüche. E. Abbe nahm 1893 in der Zeißischen Werkstätte die Fabrikation von Prismenfernrohren auf und arbeitete Methoden für die Prismenherstellung aus, die eine genaue und doch billige Formgebung erlaubten. Daß es aber auf die Genauigkeit sehr ankommt, kann man daraus schließen, daß die Richtungsänderung nach der Reflexion etwa sechsmal so groß ist als die nach einer Brechung. Ungenauigkeiten in der Herstellung ziehen also unter sonst gleichen Umständen bei Spiegelprismen eine sechsmal so große Bildverschlechterung nach sich, als die ist, die sich bei brechenden Planparallelplatten einstellen würde. Die Herstellung von Prismenfernrohren wurde nach der Mitte der neunziger Jahre von einer sehr großen Zahl namentlich deutscher Werkstätten in Angriff genommen, so daß aus diesem Grunde hier eine Aufzählung ihrer Namen unterbleibt. Als Einzelfernrohre werden diese Systeme verhältnismäßig selten angewandt.

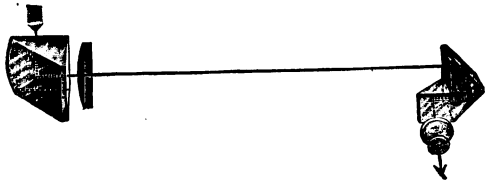


Fig. 84. Die Bildaufrichtung durch ein Paar gekreuzter Winkelspiegel. (Prismensystem zur Herbeiführung einer großen Parallelversetzung.)

i) Die Doppelfernrohre mit normalem und erweitertem Objektivabstande. Die gewöhnlichen Doppelfernrohre ohne Erweiterung des Objektivabstandes. — Schon bei der Besprechung des holländischen Einzelfernrohrs hatte ein Hinweis darauf Platz gefunden, daß wegen der Fernrohrvergrößerung V irdische

Objekte endlicher Tiefenausdehnung und bekannter Form verflacht erscheinen. Dasselbe gilt für die terrestrischen Fernrohre vom Ort ihrer Austrittspupille aus, hinter die das beobachtende Auge gebracht wird. Durch die Verbindung zweier Fernrohre mit parallel gerichteten Achsen zu einem Doppelfernrohre wird nun diese Verflachung der Objekte insoweit der Raumvorstellung aufgezwungen, als sie von der stereoskopischen oder Tiefenwahrnehmung abhängt. Diese Abhängigkeit geht aber nicht zu weit, vielmehr spielt die Erfahrung von den bekannten Formen der Gegenstände eine um so wichtigere Rolle, als wohl meistens die durch das Fernrohr vermittelten Gesichtsempfindungen auf die Objekte selbst übertragen werden. In dem Widerstreit der Wahrnehmung (ein bekanntes Objekt von beispielsweise quadratischem Grundrisse erscheint durch ein vierfach vergrößerndes Fernrohr nur mit einem Viertel seiner wirklichen Tiefenerstreckung) und der Erfahrung (es hat einen quadratischen Grundriß) werden sich allgemein verschiedene Beobachter verschieden verhalten, die meisten sich aber so entscheiden, daß sie ihrer Erfahrung einen Einfluß auf ihr Urteil zugestehen: sie werden also das Objekt nicht so stark abgeflacht auffassen, wie sie es sehen, und dann wird sich leicht eine Vergrößerung des Hintergrundes einstellen. Hier ist es von Wichtigkeit, auf die durch jedes vergrößernde Doppelfernrohr mit Notwendigkeit hervorgerufene Tiefenfälschung hinzuweisen. Soweit die stereoskopische Wahrnehmung in Frage kommt, erscheinen irdische Objekte so, als ob neue Objekte, deren Höhen- und Breitenausdehnung unverändert wäre, deren Tiefenausdehnung aber nur den $V$-ten Teil betrüge, aus einem Abstande betrachtet würden, der nur dem $V$-ten Teil des alten gleich wäre. Die $V$-fache Verflachung hat aber weiterhin zur Folge, daß nunmehr das Tiefenunterscheidungsvermögen des Beobachters eine $V$-mal so große Bedeutung hat, oder — wieder mit Beziehung auf die Objekte — daß durch ein $V$-fach vergrößerndes Doppelfernrohr auch die Grenze der Tiefenwahrnehmung auf den $V$-fachen Betrag hinausgerückt ist. Wünscht man diese Erhöhung der Plastik, wie diese Eigenschaft auch bezeichnet wird, so muß man die Abflachung der Objekte, ihr kulissenartiges Aussehen, in den Kauf nehmen, denn beides ist in gleicher Weise auf die Fernrohrvergrößerung zurückzuführen. — Doppelfernrohre sollten stets erlauben, den Abstand der beiden Rohre so zu ändern, daß er mit der Entfernung der Augendrehpunkte des Beobachters übereinstimmt. Als äußerste Grenzen solcher

bei Erwachsenen noch vorkommenden Augenabstände kann man wie auf S. 29 etwa 50 und 72 mm angeben.

Die ersten Doppelfernrohre des holländischen Typus wurden bereits 1608 von J. Lipperhey hergestellt und später von dem Kapuzinermönch Chérubin d'Orléans um das Ende des 17. Jahrhunderts angepriesen. Im 18. Jahrhundert verschwanden sie so gut wie ganz, so daß Fr. Voigtländer sie 1823 in Wien neu erfinden konnte. Durch die erfolgreichen Bemühungen, die seit 1825 Pariser Optiker von J. Ph. Lemière ab ihnen widmeten, scheinen die holländischen Doppelfernrohre nach 1840 in allgemeineren Gebrauch gekommen zu sein.

Die Doppelfernrohre mit erweitertem Objektivabstande. — Namentlich Prismenfernrohre werden häufig so zu einem Doppelinstrument vereinigt, daß die Objektivmitten einen größeren Abstand voneinander haben, als die Scheitel der Okularlinsen. Um den Einfluß dieser Trennung auf die Wahrnehmung zu erläutern, muß man etwas weiter ausholen.

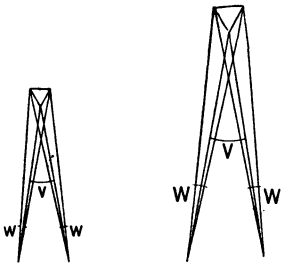



Fig. 85.
Die Unveränderlichkeit der Gesichtswinkel $w$ $W$ bei gleichmäßiger Maßstabsänderung. $w$, $w$ Gesichtswinkel, $v$ Konvergenzwinkel des Kindes, $W$, $W$ Gesichtswinkel, $V$ Konvergenzwinkel des Mannes.

Man stelle sich ein Kind mit einem Abstande der Augendrehpunkte von 50 mm und einen Mann mit einem solchen von 75 mm vor, und lasse jenes beispielsweise eine gerade dreiseitige Pyramide von 2 cm Seitenlänge aus einer Entfernung von 40 cm, diesen ein ganz ähnliches Objekt von 3 cm Basislänge aus einem Abstande von 60 cm betrachten. Ein Blick auf die Fig. 85 zeigt alsdann, daß die von diesen verschieden großen und verschieden entfernten Objekten hervorgebrachten Gesichtswinkel $w$, $W$ identisch sind, denn man würde sie ja auch durch eine einfache Parallelenkonstruktion haben erhalten können. Daraus folgt unmittelbar, daß das Kind (sobald es allein nach den Winkeln urteilte) die größere Pyramide kleiner auffassen würde, wenn man seinen Augen die Gesichtswinkel geben könnte, die sich an den Drehungszentren des Mannes einstellen, und umgekehrt. — Eine solche Einrichtung besteht nun wirklich, und zwar wurde sie als Telestereoskop 1857 von H. Helmholtz angegeben (Fig. 86). Von einem ganz beliebigen

Objektpunkte wirken nur die Strahlen auf den Beobachter, die nach den Spiegelbildern seiner Augen zielen, und diese Spiegelbilder haben einen viel größeren Abstand voneinander als seine Augen. Alle durch dieses Instrument betrachteten Objekte werden mithin in dem Verhältnis von $c_l c_r$ zu $C_l C_r$ verkleinert aufgefaßt werden müssen, weil ja den beiden Augen die scheinbaren Größen und die Konvergenzwinkel gegeben werden, die für die weit getrennten Spiegelbilder der Augen maßgebend sind. Es liegt hier also genau der oben betrachtete Fall, nur in gewaltiger Steigerung der Verhältnisse, vor. Wie diese Wahrnehmungen mit der Erfahrung vereinigt werden, ist sicherlich für verschiedene Beobachter verschieden und soll daher auch hier nicht näher behandelt werden. Jedenfalls wird, wenn die Wahrnehmungen unmittelbar auf die Objekte übertragen werden, die Grenze der Tiefenwahrnehmung nach Maßgabe der Abstandsvergrößerung weiter hinausgerückt werden. Verbindet man nun, wie das H. Helmholtz 1857 auch schon getan hat, ein Doppelfernrohr mit diesem einfachen Telestereoskop, so ist es für die Wirkung gleichgültig, ob man das Doppelfernrohr einfach hinter das Telestereoskop setzt, oder ob man es mit den Spiegeln in der später angegebenen Weise zusammenbaut, da die Anfangs- und die Endwinkel in beiden Fällen übereinstimmen. Für die Erklärung der Wirkung eines solchen Instruments aber ist die erste Annahme bequemer. Ist $S_1$ = Objektivabstand : Augenabstand, so bringt das einfache Telestereoskop theoretisch den Beobachter an die gleichmäßig $S_1$-fach verkleinerten

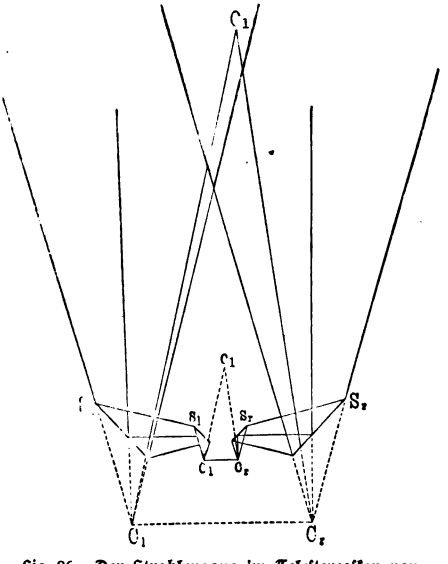



Fig. 86. Der Strahlengang im Telestereoskop von H. Helmholtz.

Gegenstände näher heran, so daß er nur noch einen Abstand von $1/S_1$ des alten von ihnen hat, Diese verkleinerten Objekte betrachtet der Beobachter mit einem $V_1$-fach vergrößernden Fernrohre, das nach dem Vorhergegangenen die Wirkung hat, ihn bis auf einen Abstand von $1/V_1$ des für die Objektive geltenden zu nähern und gleichzeitig allein die Tiefenerstreckung der Objekte der Fernrohre auf $1/V_1$ herabzubringen. Geht man auf die ursprünglichen Objekte zurück, so ist der Abstand nur noch $\frac{1}{S_1} \cdot \frac{1}{V_1}$ des alten, und ihre Tiefenerstreckung ist auf denselben Teil der ursprünglichen zusammengeschrumpft, während die Höhen- und Breitenausdehnung auf $1/S_1$ der ursprünglichen verringert worden ist. Bezieht man die Wahrnehmungen wieder auf die Objekte selbst, so ist bei einem solchen Fernrohr-Telestereoskop die Fähigkeit der Tiefenunterscheidung auf das $S_1 V_1$-fache gesteigert. Diese Steigerung bezeichnet man nach S. Czapski als totale Plastik; den von der Objektivtrennung abhängigen Faktor $S_1$ nennt man spezifische Plastik. Die Kulissenwirkung der Fernrohre mit vergrößertem Objektivabstande ist allein durch die Fernrohrvergrößerung bedingt, da die Trennung der Objektive auf alle drei Dimensionen gleichmäßig verkleinernd wirkt. Vergleicht man zwei Doppelfernrohre derselben Vergrößerung miteinander, deren eines einen größeren Objektivabstand hat, so wird die Kulissenwirkung bei beiden gleich sein, dagegen wird sich die Tiefenunterscheidung bei dem zuletzt genannten Instrument weiter hinaus erstrecken. Beobachter mit einem besonders gut entwickelten Sinne für absolute Entfernungen werden die Gegenstände mehr genähert und kleiner zu erblicken glauben, doch wird dadurch natürlich die Erkennbarkeit von Einzelheiten gar nicht berührt. — Die Formen, in denen die Umkehrprismen hergestellt werden, erlauben nun eine sehr bequeme Verwirklichung der Fernrohr-Telestereoskope, wie das auch aus den Figuren ohne weiteres hervorgeht. Bei der ersten Form, dem Feldstecher, ist die spezifische Plastik nur gering, etwa $1\,^3/_4$-fach, bei der zweiten, dem Reliefernrohr, ist sie groß, etwa 5- bis 7-fach.

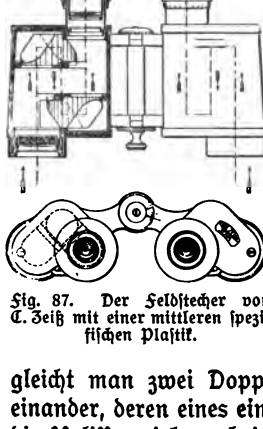


Fig. 87. Der Feldstecher von C. Zeiß mit einer mittleren spezifischen Plastik.

Die große Steigerung der Tiefenwahrnehmung, die durch stark vergrößernde Fernrohre mit hoher spezifischer Plastik geboten wird, nutzte H. de Grousilliers in seinem stereoskopischen Entfernungsmesser aus. Es ist das ein Relieffernrohr mit starker Trennung der Objektive (50 cm bei einem Instrument mittlerer Größe), wo in den Okularbrennebenen die stereoskopischen Halbbilder einer nach Hektometern fortschreitenden Markenreihe angebracht sind. Benutzt man das Doppelfernrohr mit beiden Augen, und vereinigt man die Halbbilder zu einem stereoskopischen Eindrucke, so glaubt man in der Landschaft diese nach Hektometern fortschreitende Markenreihe stehen zu sehen. Man kann dann leicht die Punkte ermitteln, die mit den einzelnen Marken in gleicher Entfernung erscheinen, und hat damit ihre Entfernung festgestellt.

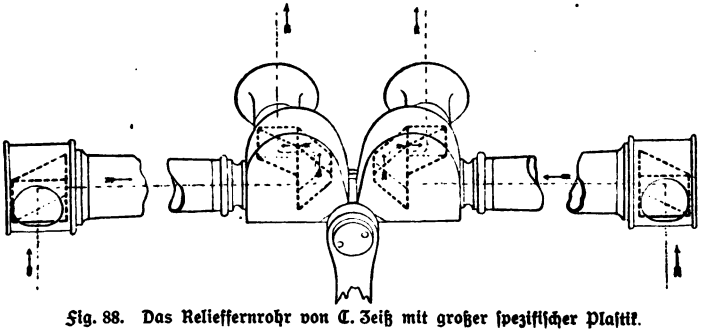


Fig. 88. Das Relieffernrohr von C. Zeiß mit großer spezifischer Plastik.

Für zwischenliegende Punkte müssen die Entfernungen durch Schätzung erhalten werden. — Von C. Pulfrich ist dann die dem stereoskopischen Entfernungsmesser zugrunde liegende Idee zur Konstruktion verfeinerter Meßinstrumente (Stereokomparatoren) benutzt worden, bei denen aber die Objektivbilder durch photographische Aufnahmen ersetzt sind. Bei einer Anfertigung stehen häufig die Achsen der Kameras parallel, und diese Instrumente finden deshalb hier ihren Platz. Eine weitere Ähnlichkeit mit den Doppelfernrohren ist die, daß stets mehr oder minder starke Vergrößerungen der die Objektivbilder vertretenden Photogramme durch die als Okulare anzusehenden Betrachtungssysteme erzielt werden. Eine besonders vorteilhafte Verwendung findet der Stereokomparator bei der photogrammetrischen Vermessung ganz unbekannter oder schwer zugänglicher (gebirgiger) Gebiete und bei der Auswertung vieler astrophotographischer Aufnahmen.

j) Die Fernrohre bei der Projektion und der Photographie. Eine Verwendung des Fernrohrs, die der des Projektionsmikroskops entspricht, findet sich bei der schon im 17. Jahrhundert geübten objektiven Vorführung von Sonnenflecken. Es ist das aber wohl der einzige Fall, wo die Helligkeit des Objekts zu einer Schirmdarstellung ausreicht. — Zu photographischen Aufnahmen verwendet man manchmal auch ganze Fernrohre, wenn nämlich verhältnismäßig stark leuchtende Objekte vorliegen. Das Objektivbild muß alsdann, ebenso wie bei der Projektion auf dem Schirme, so hier auf der lichtempfindlichen Schicht vergrößert abgebildet werden. Die hauptsächlichsten astrophotographischen Aufnahmen aber werden nicht mit zusammengesetzten Instrumenten, sondern mit einfachen Systemen gemacht, sei es, daß man dazu bei einem kleinen Bildwinkel aktinisch korrigierte Fernrohrobjektive wählt, oder daß man bei einem größeren Felde photographische Objektive mit langer Brennweite verwendet. Solange es sich um Fixsternaufnahmen handelt, bei denen das Bild sehr klein (punktförmig) ausfällt, spielt der Durchmesser des Objektivs die entscheidende Rolle: je größer er ist, um so mehr Sterne erscheinen auf der Platte. Handelt es sich aber um nähere Himmelskörper, etwa Planeten, die in endlicher Größe abgebildet werden, so verwendet man Systeme mit möglichst großem Öffnungsverhältnis. Hierzu zählen die beiden von J. A. Brashear ausgeführten Petzvalschen Porträtobjektive in Heidelberg, mit denen M. Wolf seine erfolgreichen Aufnahmen der kleinen Planeten angefertigt hat. In neuester Zeit benutzt man für astrophotographische Aufnahmen gern Hohlspiegel, weil dabei die Farbenabweichungen ganz fortfallen. Für Fernaufnahmen irdischer Objekte wird meistens das auf S. 54 besprochene Teleobjektiv verwandt.

k) Die Periskope (Umblickrohre) für Unterseeboote sind erst in den letzten Jahren als garnicht oder ganz schwach vergrößernde Fernrohre ausgebildet worden. Sie sind den Kystoskopen (s. S. 106) nahe verwandt, aber im Gegensatz zu den besprochenen medizinischen Instrumenten liegen hier die Objekte stets in Luft und in weiter Ferne. Die Periskope müssen eine beträchtliche Länge (von mehreren Metern) bei verhältnismäßig geringem Rohrdurchmesser (von einigen Zentimetern) haben. Auch bei diesen Instrumenten kommt es nur auf die Orientierung, nicht auf die Vergrößerung (s. S. 66) an. Einzelheiten über die Periskope für Unterseeboote kann man kaum erfahren, weil sie als militärisch wichtig geheimgehalten werden.

# Namen- und Sachregister.


Abbe, E., Die allgemeinen Lagen- und Größenbeziehungen von Objekt und Bild 5; Strahlenbegrenzung 6; Messung der Strahlung durch die Anzahl der abbildenden Strahlen 11, Gründung des Jenaer Glaswerks von Schott u Gen. 13, 46; Versuch die Bezeichnung „Illuminator" für Kondensor einzuführen 61; Schematische Zerlegung des Mikroskops 81; optische Querschnitte 83; numerische Apertur 84; Theorie der Bilderzeugung im Mikroskop 88; experimentelle Bestätigung dafür 90; Grenzwerte für die Vergrößerungszahlen 92; chromatische Differenz der sphärischen Aberration 93 und ihre Hebung in den Apochromaten 97; Aufstellung der Sinusbedingung 94; experimenteller Nachweis ihrer Erfüllung in alten Mikroskopobjektiven 94; Berechnung der Zeißischen Mikroskopobjektive 96; der Kompensationsokulare 99; des Kondensors 100; des stereoskopischen Okulars 102; Fabrikation Porroscher Prismenfernrohre 124.

Abbild s. u. objektseitiges Abbild.

Abbildskopie 9 das Auge bei ihrer Betrachtung 25 — 28.

Abbildungsgleichungen, bezogen auf die Brenn- und die Hauptpunkte 34.

Aberrationsfiguren im Auge 17; Aberrationskreise im Objektivbilde beim Mikroskop 95.

Absolute Lichtstärke 11, beim photographischen Objektiv 40 – 41; beim Fernrohr 112.

Absorption 12; in den Linsen eines photographischen Objektivs 41, eines Mikroskopobjektivs 105; eines Fernrohrobjektivs 112, 119.

Achromatobjektive 96, 99.

Achse 1.

Achsenametropie 17, 68.

Akkommodation, Änderung des Irisdurchmessers dabei 21.

Akkommodationsgebiet 21.

Akkommodationsvermögen 20, 69.

Aktinische Achromasie 46, 130.

Albedo 58.

Alethar 55.

d'Almeida, J. Ch., stereoskopische Projektion 65 — 66.

Altersauge 21; Brille dafür 69.

Ametropie 17,68.

Amici, G. B., Mikroskoptypus 93; Anbringung der Frontlinse 95; Dachprisma 107.

Anastigmate (Protare) 53.

Anastigmatische Bildfeldebenung 50.

Anderton, J, stereoskopische Projektion 66.

Antiplanet 53.

Aphakische, Brillen für sie 70—71.

Aplanat 53.

Aplanatische Lesegläser, Lupen 74, 77.

— Punkte 94.

— Systeme 95.

Apochromatobjektive, photographische 47; mikroskopische 97; teleskopische 120.

Äquivalentbrennweite 2.
Aristostigmat 55.
Asphärische Flächen 12, 71.
Astigmatische Bildflächen 49, Brillen 72—73.
Astigmatismus (im allgemeinen schiefer Büschel) 14; beim photographischen Objektiv 48; beim Auge 72; bei der Verantlupe 78; beim holländischen Fernrohr 114; bei den Okularen 116.
Astronomische Fernrohre 110, 114—121.
Astrophotographische Aufnahmen 46, 130.
Auflösungsvermögen des Mikroskops bei gerader und schiefer Beleuchtung 88; relatives der Monochromate 105.
Aufrechte Bilder 67—68, 109.
Auge \, 15—30.
Augendrehpunkt 23; Folgen seines unrichtigen Abstandes von der Abbildskopie 25—28; Abstand der beiden 29; seine Lage bei der Betrachtung von Photogrammen 37—38; bei den Brillen 69; beim holländischen Fernrohre 112—114.
Augenkammmer 16
Augenlinse 98.
Austrittsluke 8.
Austrittspupille 7.
Autochromplatten 46.
Autotypie 44—45.

Balgenkameras 33.
Bamberg, C., Fernrohrobjektive mit vermindertem sekundärem Spektrum 120.
Beck, R. u. J. Isostigmar 55.
Beidäugiges Sehen 28—30.
Belichtungszeit, ihr Zusammenhang mit dem Öffnungsverhältnis 42; kürzere — kleiner Objektive 43—44.
Bénèche, L., Mitwirkung am Kystoskop 106.
Beugungserscheinungen 86—88.
Biese, C. A., Fernrohre mit veränderlicher Vergrößerung 121.
Bildfeldkrümmung im allgemeinen 15; beim photographischen Objektiv 49.
Billerbeck s. Schulze.
Binokulare Lupen 80.
— Mikroskope 102.
Bis-Telar 55.
Blendenfleck 41.
Blicken s. u. direktes Sehen.
Blicklinie 23.
Blinder Fleck 16.
Bow, R. H., Arbeiten über die Verzeichnungsfreiheit 52.
Brachyteleskop 118.
Brashear, J. A., astrophotographische Objektive 130.
Brechkraft D 67, 83, 91.
Brechungsexponent 12.
Breitenwahrnehmung, ihr angulares Maß 20.
Brennpunkte 2.
Brewster, D., stereoskopische Projektion 65; seine Lupen 76, 77; sein Prismenstereoskop 30, 75, 80.
Brillanz eines Photogramms 41.
Brillen VI, 68—73.
Brillengestelle 73.
Brückesche Lupe 77.
Busch, E., Bis-Telar; Buschanastigmat; Omnar, Stigmar 55.

Camera obscura als Zeichenapparat 55—56; als Betrachtungsapparat 74.
Cassegrains Reflektor 117—118.
Celor 55.
Chemischer Fokus 46.
Chérubin d'Orléans, binokulares Mikroskop 102.
Chevaliersche (Brückesche) Lupe 77.
Choroplast 55.
Chromatische Aberrationen, im allgemeinen 13, 45—46; beim Okular 99.
Chromatische Differenz der sphärischen Aberration bei Mikroskop-

objektiven 93; bei Fernrohrobjektiven 115, 120.
Chromatische Korrektion bei den photographischen Objektiven 46; bei den Projektionssystemen 56, bei den Lupen 77; bei den Mikroskopobjektiven 93; bei den Okularen 99, 116; bei den Fernrohren 119; bei der Astrophotographie 130.
Chromatische Vergrößerungsdifferenz bei Mikroskopobjektiven 93; bei Kompensationsokularen 99; bei Dialyten 116, 120.
Clark, A. G., große Refraktoren 119.
Coddington, H., seine Lupe 76.
Cooke-Linse 54.
Czapski, S., Fernrohrobjektive mit vermindertem sekundärem Spektrum 120; totale 128 und spezifische Plastik 128.

Daguerre, J. L. M., sein Lichtbildverfahren 32.
Dallmeyer, J. H., Triplett, Landschaftslinse und Porträtobjektiv 52.
Dallmeyer, Th. R., sein Teleobjektiv und Stigmat 54.
Deckglas 81.
Deklinationsachse 121; -winkel 121.
Dialyt 116, 119.
Diapositiv 59.
Diaskopische Projektion 59—63.
Diffuses Licht 57.
Dioptrie, dptr 67, 69.
Direktes Sehen 22—25; durch ein holländisches Fernrohr 113.
Disparate Netzhautstellen 28.
Dispersion s. Zerstreuung.
Distortion s. Verzeichnung.
Dollond, J., erfindet als zweiter 1757 das achromatische Fernrohr 13, 115, 119.
Doppelamatar 53.
Doppelanastigmat 53.
Doppelfernrohr VI, 124—129.
Doppelfokusglas, verschiedene Methoden seiner Herstellung 70.
Doppelverant 80.
Dove, H. W., stereoskopische Projektion 65.
Dreifarbendruck 46.
Ducos du Hauron, stereoskopische Buchillustration 66.
Dunkelfeldbeleuchtung 89.
Dynar 55.

Einstellungsebene 8.
Eintrittsluke 7.
Eintrittspupille 6.
Elliptische Flächen 12.
Entfernungsbestimmung beim einäugigen Sehen 22; beim beidäugigen Sehen 29.
Entfernungsmesser, stereoskopischer 129.
Entoptische Erscheinungen 92, 106.
Episkopische Projektion 57—59.
Eurynar 55.
Euryplan 55.

Feil, Ed., Pariser Glashütte 119.
Feine Einstellung 102.
Feldstecher 128.
Fernpunkt 21.
Fernrohrbrillen 71—72.
Ferris, H. W., Idee des Panoramafernrohrs 122.
Films 33.
Finsterwalder, S., photogrammetrische Arbeiten 39.
Flatau, Th. S., sein Laryngoskop 107.
Flint 13; Fernrohrflint 115.
Fluorit (Flußspat) 97.
Franklin, B., sein Doppelfokusglas 70.
Fraunhofer, J., seine Glasschmelzung 13, 119; seine Lupe 77; seine Beugungsformeln 87; seine Refraktoren 119; seine terrestrischen Fernrohre 121.
Freier Objektabstand 75, 80.
Fritsch, K., sein Brachyteleskop 118.
Frontlinse 85.

Füllperspektiven beim natürlichen Sehen 23—24; bei der Betrachtung von Abbildskopien 26.

Galilei, G., erfindet und benutzt das holländische Fernrohr 108, 114.
Gastroskop, 66, 107.
Gauß, C. F., Die Lagen- und Größenbeziehungen bei zentrierten Linsensystemen 1; Aufhebung der chromatischen Differenz der sphärischen Aberration bei Fernrohrobjektiven 115.
Gelber Fleck 16.
Gerade Beleuchtung 88.
Gesichtsfeld 8; wahres und scheinbares 110; beim holländischen Fernrohr 112—113.
Gesichtswinkel, ihr Einfluß auf die Deutung perspektivischer Darstellungen 26—28.
Gitter 87.
Glasbild 59.
Glaskörper 16.
Goerz, C. P., Doppelanastigmat 53; Syntor, Celor, Alethar 55; Panoramafernrohr 122.
Graetz, L., über Farbenaufnahmen 47; die Polarisation des Lichts 66; die physikalische Lichttheorie 86; die Beugungserscheinungen bei Gittern 86—87.
Graphoskop 74.
Greenoughsches Doppelmikroskop 102.
Gregory, J., sein Reflektor 117.
Grenze der Auflösung s. unter Auflösungsvermögen.
Grobe Einstellung 101.
de Grousilliers H., sein stereoskopischer Entfernungsmesser 129.
Grubb, Th., seine Landschaftslinse 52; sein Reflektor für Melbourne 118.
Guckkasten 74—75.
Guinand, P. L., seine Glasschmelzen 119.
Gullstrand, Betonung der Wichtigkeit der Lichtverteilung in der Zerstreuungsfigur 14; punktuelle Korrespondenz; Erklärung der Sternstrahlen 17; die Zweckmäßigkeit der Schichtung der Augenlinse 21; punktuell abbildende Stargläser 71; asphärotorische Stargläser 73; Lupenforderung 78; Anregung zur Konstruktion des Veranten 78.

Halbtöne, ihre Wiedergabe durch die Autotypie 44.
Hall, Ch. M., erfindet 1729 das achromatische Fernrohr 13, 115, 119.
Harcourt, W. V., seine Versuche mit Glasschmelzung 13.
Harrison, C. C. und J. Schnitzer, ihre Kugellinse 52.
Hauck, G., photogrammetrische Arbeiten 39.
Hauptebenen 2.
Hauptperspektive beim Sehen 23.
Hauptpunkte 2.
Hauptstrahl 8, 36.
Hays, H., sein Laryngoskop 107.
von Hefner-Alteneck, Fr., führt den Ausdruck Scheinwerfer ein 57.
Heine, L., experimenteller Nachweis des Heringschen Netzes 19.
Heliar 55.
Helligkeit punktmäßiger und flächenhafter Objekte beim Fernrohr 111.
Helmholtz, H., sein Telestereoskop ohne und mit Fernrohrvergrößerung 127—128.
Hering, E., Erklärung der Schärfe der Breitenwahrnehmung 20.
Herschel, W., sein Reflektor 118.
Hertel, E., Anregung zu den Fernrohrbrillen 71.
Heß, C., Nachweis des Linsenkerns in Augen Erwachsener 16.
von Höegh, E., Doppelanastigmat 53.
Hohlspiegel, als Fernrohrobjektiv 117—118; für astrophotographische Aufnahmen 130.

Holländisches Fernrohr 108, 112 bis 114.
Homogene Immersionen 82, 96.
Hornhaut 15.
Horopter 28.
Huygensisches Okular 98, 116.
Hypermetropisch 17.

von Ignatowsky, W., sein Kondensor für Dunkelfeldbeleuchtung 100.
Immersionen 82.
Indirektes Sehen 23; durch ein holländisches Fernrohr 112.
Instrumente, zu objektivem Gebrauche V, 31—66; zu subjektivem VI, 66—130.
Interferenz 86.
Iris 16; ihre Änderung mit der Helligkeit 18; bei der Akkommodation 21.
Irisblenden 43.
Isostigmar 55.

Kaempfer, D., Kollineare 54.
Kamera 32; fester Einstellung 33.
Kammerwasser 16.
Kardinalpunkte 2.
Kassette 32; Film- 33.
Kehlkopfspiegel 107.
Kellner, C., sein Fernrohrokular 116, 124.
Kepler, J., sein Refraktor 118.
Kimme und Korn 122.
Kinematographische Projektion 64 bis 65.
Kircher, A., Laterna magica 59.
Kissenförmige Verzeichnung 50; bei Okularen 116.
Klemmer 73.
Kneifer 73.
Köhler, A., mikrophotogr. Einrichtung für ultraviolettes Licht 105 bis 106; relatives Auflösungsvermögen 105; natürliche Färbung organischer Gebilde im ultravioletten Lichte 106.
Kollektiv 98.
Kollineare 54.
Koma 14.
Kompensationsokulare für Apochromate 99; für Dialyte 116, 120.
Kondensor für Projektion 61 bis 63; für Mikroskope 100; für Dunkelfeldbeleuchtung 100.
Konjugierte Ebenen 2.
Konvergenzwinkel 28.
Korrektionsfassung 96.
Korrespondierende Netzhautstellen 28.
Korrigierendes Brillenglas 68.
Korrodi, H., Arbeit am Panoramafernrohr 122.
Kreibig, C., Allgemeines über das Auge 15; über die Konvergenz 28.
Kreuzraster 45.
Krimstecher 114.
Kron, altes 13; neues 53; Fernrohrkron 115; Borosilikatkron 124.
Kröpfung des Steges 73.
Krümmungsametropie 71.
Kugellinse 52.
Kulissenartiges Aussehen der Objekte im Doppelfernrohr 125, 128.
Kurzsichtigkeit 16.
Kystoskop 66, 106—107.

Lagen- und Größenbeziehungen von Objekt und Bild. Im allgemeinen 1—5; beim Auge 17, 21—22; beim photographischen Objektiv 33—35; bei der Projektion 56—57; den Instrumenten zu subjektivem Gebrauche 66—67; den Mikroskopen 81 bis 83; den Teleskopen 107—109.
Lambert, J. H., sein Strahlungsgesetz 11; sein Studium der Perspektive 26.
Landschaftslinsen 51, 54.
Laryngoskop 107.
Laterna magica 59.
Leere Vergrößerungen 92.
Leitz, E., Summar 55.
Lemière, J. Ph., Ausbildung der mechanischen Teile der holländischen Doppelfernrohre 126.

Leseglas 73—75.
Levy, M., Kreuzraster 45.
Lick-Fernrohr 119.
Linse 1—2.
Linsenkern der Kristallinse 16.
Lipperhey, J., Erfinder des holländischen Fernrohrs 114; des holländischen Doppelfernrohrs 126.
Lorgnette 73.
Luftfernrohre 119.
Lumièresche Autochromplatten 46.
Lupe 76—80.
Lupenbrillen 70.

Magnar 55.
Mattscheibe 32.
Mattscheibenebene 8.
Maxima der Beleuchtung 87.
Maxwell, J. C., Erweiterung der Gaußischen Abbildung 5.
Menisfus 1, Fig. 2.
Merzische Refraktoren 119.
Meyer, H., Aristostigmat 55.
Mikron ($\mu$) 12.
Mikrophotographie 102, 104 bis 106.
Mikroskop, einfaches 76; zusammengesetztes VI, 80—107.
Minima der Beleuchtung 87.
Monobromnaphthalinimmersion 85, 105.
Monochromate 105.
Monokel 73.
Myopisch 16.

Nachetsches Doppelmikroskop 102.
Nachtgläser 113.
Nahepunkt 21, 67.
Nebenbild 41.
Netzhautgrube 16; maschenartige Anordnung der Zäpfchenenden in ihr 19—20.
Neuhauß, R., übersetzt Projektionssystem mit Bildwerfer 56.
Newton, J., sein Reflektor 117.
Nitze, M., Konstruktion des Kystoskops 106.
Nonius 20.
Numerische Apertur A 84.

Objektiv 32; photographisches V, 32—55.
Objektiver Gebrauch, Instrumente dazu V, 31—66.
Objektseitiges Abbild 8; beim ruhenden Auge 18; beim direkten Sehen 24—25; beim photographischen Objektiv 36—38; bei der Projektion 59; bei Mikroskopen 83; bei Fernrohren 110.
Objekttisch 101.
Objektträger 81.
Öffnungsverhältnis $d:f$ beim photographischen Objektiv 40; sein Zusammenhang mit der Belichtungszeit 42.
Okulare für Mikroskope 97—99 und Teleskope 116, 124.
Ölimmersionen 82.
Omnar 55.
Opernglucker 114.
Optische Achromasie 45.
Optische Projektion 14.
Optische Tubuslänge $\Delta$ 81; Definition 82.
Optisches Glas 12.
Orientierende Instrumente 66.
Orthochromatische Platten 44.
Orthoskopisches Okular 116.
Orthostigmat 54.
Ostwaltsche Brillen 69, 70.
Oxyn 55.

Panoramafernrohr 122.
Parabolische Flächen 12.
Parallaktische Montierung 120 bis 121.
Periskop, photographisches 53; periskopische Brille 69; Periskope für Unterseeboote 66, 130.
Perspektivische Darstellungen, ihr Auftreten bei optischen Instrumenten 10; ihre richtige und unrichtige Betrachtung 25—28; erhalten durch das photographische Objektiv 36—38; bei Projektionsvorführungen 63—64; bei schwachen Mikro-

skopobjektiven 83; bei Fernrohren 110, 113.
Petzval, J., seine optischen Studien 15; seine Periode in der Objektivkonstruktion 51, 52; seine photographische Korrektion des Porträtobjektivs 52; sein Hinweis auf die Zwecklosigkeit unmäßiger Vergrößerungen 92; seine Verbesserung des holländischen Fernrohrs 114.
Photogrammetrie 39; Verwendung des Stereokomparators dabei 129.
Photographische Achromasie 46.
Photographisches Objektiv V, 32 bis 55.
Pigeon, L., sein Stereoskop 30.
Pincenez 73
Planar 55.
Plastik, ihre Erhöhung im Doppelfernrohr 128; totale 128, spezifische 128
Plattenformate 33.
Plößl, S., Kompensationsokulare für Dialyte 120.
Polarachse 120.
Polyplast 55.
Porro, J., Teleobjektiv 54; Prismenfernrohre 122; Schwierigkeit ihrer Herstellung 124.
Porta, G., seine Camera obscura 56.
Porträtobjektive 51.
Presbyopenbrillen 69—70.
Presbyopisch 21.
Prismatische Brillen 73.
— Wirkung der Halblinsen 30, 75.
Prismenfernrohre 122—128.
Projektion, episkopische 57—59; diaskopische 59—63; die Perspektive dabei 63—64; kinematographische 64—65; stereoskopische 65—66; mikroskopische 78, 103; mit Fernrohren 130.
Projektionsmikroskop 103.
Projektionsokulare 103.
Projektionssysteme V, 56—66.
Protare 53.
Pulfrich, C., sein Stereokomparator 129.
Punktuell abbildende Brillen 69, 70, 71.
Punktuelle Korrespondenz 14.

Quarz, geschmolzener, seine Verwendung 105.

Ramsdenscher Kreis 98, 99.
Ramsdensches Okular 98, 116.
Raster 45.
Reduktionsmaßstab M, 34.
Reelles Bild 4.
Reflektoren 117—118.
Reflexionsverluste 40—41, 112.
Refraktoren 118—120.
Reichert, P., Solar 55.
Relative Lichtstärke 11, beim photographischen Objektiv 40.
Relatives Auflösungsvermögen r. A. der Monochromate 105.
Relieffernrohr 129.
Richtfernrohre 122.
Rindenschicht in der Kristallinse 16.
Ringleb, O., sein lichtstarkes Kystoskop 107.
Rodenstock, J., Eurynar 55.
Rogers, W., Dialyte 119.
Rollmann, W., stereoskopische Projektion 66.
Roß, A., seine Korrektionsfassung 96.
— Th., sein Dublett 52.
Rosse, Lord, sein Reflektor 118.
Rotationsblenden 43.
Rudolph, P., Anastigmate (Protare), Doppelamatare, Satzlinsen 53,54; Planare, Unare, Tessare 55.

Sammellinsen 1, Fig. 2.
Satzlinsen 51, 53, 54.
Scheinbare Größe 18.
Scheinbares Gesichtsfeld 110.
Scheinwerfer 57.
Schieberblenden 43.
Schiefe Beleuchtung 89.
Schlieren 12.
Schließmuskel 18.

Schlüssellochperspektive 25; ihre Anwendung bei der Betrachtung von Weitwinkelaufnahmen 38; bei Lupen 75; bei Okularen 98—99.
Schnitzer, J. s. u. C. C. Harrison.
Schott & Gen., Gründung des Jenaer Glaswerks 13, 46, 97; Herstellung von Fernrohrkron und Fernrohrflint 115; Borosilikatkron 124.
Schröder, H., Notiz über Kompensationsokulare 116; Fernrohr mit veränderlicher Vergrößerung 122.
Schulze, Gebr. & Billerbeck, Eurynplan 55.
Schyrl, A. M., Konstrukteur terrestrischer Fernrohre 117.
Sehnenhaut 15.
Sehschärfe, ihr angulares Maß 19; ihr Maß auf der Netzhaut 20.
Seidel, L., Rechenverfahren 53.
Sekundäres Spektrum, seine Hebung 14; photographische Objektive mit vermindertem sek. Spektrum 47; bei Mikroskopobjektiven 93, 97; Fernrohrobjektive mit vermindertem sek. Spektrum 120.
Sensibilisieren 44.
Siedentopf, H., sein Ultramikroskop 90; sein Kondensor für Dunkelfeldbeleuchtung 100.
Sinusbedingung 94, 115, 117.
Solar 55.
Sonnenmikroskope 78.
Spalt 87.
Spezifische Intensität 11.
Spezifische Plastik 128.
Sphärische, monochromatische Aberrationen im allgemeinen 13; im engeren Sinne 14.
Sphärische Korrektion im Auge 17; bei den photographischen Objektiven 47; den Lupen 76; den Mikroskopobjektiven 93; den Fernrohrobjektiven 115.
Sphäro-zylindrische Linsen 73.
Spiegelinstrumente 117—118.
Stäbchenenden 16, 20.
Staeble, u. Co., Choroplast, Polyplast 55.
Stanhopesche Lupe 76, 77.
Starbrillen 70, 71; Gullstrandsche 71.
Stativ des Mikroskops 101.
Steinheil, C. A., optische Werkstätte 53, 119.
— H. A., Periskop, Aplanat und Antiplanet 53; Lupe 77.
— R., Orthostigmat 54; Unofokal Triplar 55; Refraktoren für Potsdam 119.
Stephenson, J. W., Anregung der homogenen Immersion 96.
Stereokomparator 129.
Stereoskop nach Ch. Wheatstone 30; nach L. Pigeon 30; nach D. Brewster 30, 75, 80.
Stereoskopische Aufnahmen 39; Projektionsmethoden 65—66.
Stereoskopischer Entfernungsmesser 129.
Stereoskopisches Okular 102.
Sternstrahlen, A. Gullstrands Erklärung 17.
Stigmar 55.
Stigmat 54.
Strahlenbegrenzung im allgemeinen 5—11; beim Auge 18; beim photographischen Objektiv 36—38; bei den Vergrößerungsgläsern 75; beim Mikroskop 83; beim Fernrohr 109—111.
Strahlungsvermittlung im allgemeinen 11; beim Auge 18; beim photographischen Objektiv 39 bis 44; bei den Vergrößerungsgläsern 75; beim Mikroskop 84; beim Teleskop 111; beim holländischen Fernrohr 113.
Stundenwinkel 120.
Subjektiver Gebrauch, Instrumente dazu VI, 66—130.
Sucherfernrohr 117.
Summar 55.
Syntor 55.
System 1.
Systemachse 1.

Talbot, H. F., sein photogenisches Verfahren 32.
Taylor, H. D., Cooke-Linse 54; apochromatische Fernrohrobjektive 120.
Teleobjektive, ihre Perspektive 38; ihre Erfindung und Ausbildung durch J. Porro und Th. R. Dallmeyer 54; ihre Verwendung 54.
Teleskop VI, 107—130.
Teleskereoskop 126—128.
Terrestrische Fernrohre mit fester und veränderlicher Vergrößerung 121—122.
Terrestrisches Okular 116.
Tessar 33, 55.
Tiefe bei photographischen Objektiven 36—37; bei schwachen Mikroskopen 83.
Tiefenwahrnehmung, ihre Grenze im freien Sehen 29; bei binokularen Lupen 80; bei Doppelfernrohren mit normalem 125 und erweitertem Objektivabstande 128.
Tonnenförmige Verzeichnung 50.
Torische Linse 73.
Total reflektierende Prismen 123.
Totale Plastik 128.
Totale Reflexion 84.
Totalindex 16, bei Akkommodation 21.
Triplar 55.
Trockenplatten 32.
Trockensysteme 82.
Tubus 81, 101.

Übersichtigkeit 17.
Übervergrößerung 95.
Ultramikroskop 90.
Ultraviolettes Licht, mikrophotographische Einrichtung dafür 105—106.
Umdrehungsflächen 2, 12.
Umgekehrte Bilder 67—68, 109.
Unar 55.
Universalobjektive 51.
Unofokal 55.
Utzschneidersche Glasschmelzen 119.
Verant, zur einäugigen Betrachtung von Aufnahmen mit Objektiven kurzer Brennweite 37, 78.
Verantlupe 78.
Vergrößerung 2, *N* 35, 81 (Reduktionsmaßstab *M* 34); D (beim Fernrohr) 108.
Vergrößerungsgläser V, 75—80.
Vergrößerungszahl *N* 67, 83, 91.
Vernier 20.
Versilberte Prismenflächen 123.
Vertikalilluminator 100.
Verzeichnung, im allgemeinen 15; beim photographischen Objektiv 50; bei den Okularen 116.
Vignettieren 8, 9.
Virtuelles Bild 4.
Vogel, H. W., seine orthochromatischen Platten 44.
Voigtländer, Fr., seine Ausführung des Petzvalschen Porträtobjektivs 52; Kollinear 54; Heliar, Dynar, Oxyn 55; seine Neuerfindung der holländischen Doppelfernrohre 126.
Vorsatzküvetten 47.

Wasserimmersionen 82.
Wasserkammer 58, 62.
Waterhouse, J., seine Schieberblenden 43.
Wenham, F. H., sein binokulares Mikroskop 102.
Weiße 58.
Weitwinkelaufnahmen, ihre richtige Betrachtung 38.
Weitwinkelobjektive 38, 51; die englische Periode ihrer Entwicklung 52.
Weitwinkelperspektive 38, 106.
Wellen 12.
Wheatstone, Ch., seine Erfindung des Stereoskops 30.
Wilsing, J., Absorption bei großen Refraktoren 119.
Winkelspiegel 123.
Wolcott, A. S., seine Versuchskonstruktionen 52.
Wolf, M., seine astrophotographischen Aufnahmen 130.

Wollaston, W. H., seine einfache Landschaftslinse mit Vorderblende 51; seine stärker durchgebogenen Brillen 69, 70; seine Lupen 76.
Wulstfläche 73.

Yerkes-Fernrohr 119.

Zäpfchenenden 16; ihre Größe und Anordnung 20.
Zeiß, C., Anastigmate (Protare), Doppelamatare 53; Magnare, Planare, Unare, Tessare 55; Gullstrandsche Starbrillen 71 und Fernrohrbrillen 71—72; Verantlupen und Veranten 78; Achromate und Apochromate 96; mikrophotographische Einrichtung für ultraviolettes Licht 105; lichtstarke Kystoskope nach O. Ringleb 107; Herstellung Porroscher Prismenfernrohre 124 und Relieffernrohre 128; stereoskopischer Entfernungsmesser 129 und Stereokomparatoren 129.
Zentrierte Linsensysteme 1.
Zerstreuungskreise 8.
Zerstreuungslinsen 1, Fig. 2.
Zerstreuungsvermögen 12.
Zielfernrohre 122.
Zinkographie 44.
Zylinderlinsen 73.

Druck von B. G. Teubner in Dresden.

## Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

# Aus Natur und Geisteswelt

**Jeder Band geheftet M. 1.—, in Leinwand gebunden M. 1.25**

Auf den Gebieten der Optik und verwandten Gebieten sind erschienen:

**Spektroskopie.** Von Dr. L. Grebe. Mit 62 Abbildungen. (Bd. **284**.)
Gibt eine von zahlreichen Abbildungen unterstützte Darstellung der spektroskopischen Forschung und ihrer weittragenden Ergebnisse für Wissenschaft und Technik.

**Das Mikroskop,** seine Optik, Geschichte und Anwendung. Von Dr. W. Scheffer. Mit 66 Abbildungen. (Bd. **35**.)
Nach Erläuterung der optischen Konstruktion und Wirkung des Mikroskops und Darstellung der historischen Entwicklung wird eine Beschreibung der modernsten Mikroskoptypen, Hilfsapparate und Instrumente gegeben und gezeigt, wie die mikroskopische Untersuchung die Einsicht in Naturvorgänge vertieft.

**Das Stereoskop** und seine Anwendungen. Von Prof. Theodor Hartwig. Mit 40 Abbildungen und 19 Tafeln. (Bd. **135**.)
Behandelt die verschiedenen Erscheinungen und Anwendungen der Stereoskopie, insbesondere die stereoskopischen Himmelsphotographien, die stereoskopische Darstellung mikroskopischer Objekte, das Stereoskop als Meßinstrument und die Bedeutung und Anwendung des Stereokomparators.

**Die Pflanzenwelt des Mikroskops.** Von Bürgerschullehrer Ernst Reukauf. Mit 100 Abbildungen. (Bd. **181**.)
Eröffnet einen Einblick in den staunenswerten Formenreichtum des mikroskopischen Pflanzenlebens und lehrt den Ursachen ihrer wunderbaren Lebenserscheinungen nachforschen.

**Die Tierwelt des Mikroskops** (die Urtiere). Von Privatdozent Dr. Richard Goldschmidt. Mit 39 Abbildungen. (Bd. **160**.)
Eröffnet dem Naturfreunde ein Bild reichen Lebens im Wassertropfen und sucht ihn zugleich zu eigener Beobachtung anzuleiten.

**Das Licht und die Farben.** Von Prof. Dr. Leo Graetz. 3. Auflage. Mit 117 Abbildungen. (Bd. **17**.)
Führt, von den einfachsten optischen Erscheinungen ausgehend, zur tieferen Einsicht in die Natur des Lichtes und der Farben und behandelt, ausgehend von der scheinbar geradlinigen Ausbreitung, Zurückwerfung und Brechung des Lichtes, das Wesen der Farben, die Beugungserscheinungen und die Photographien.

**Sichtbare und unsichtbare Strahlen.** Von Prof. Dr. Richard Börnstein und Prof. Dr. W. Marckwald. 2. Auflage. Mit 85 Abbildungen. (Bd. **64**.)
Schildert die verschiedenen Arten der Strahlen, darunter die Kathoden- und Röntgenstrahlen, die Hertzschen Wellen, die Strahlungen der radioaktiven Körper (Uran und Radium) nach ihrer Entstehung und Wirkungsweise, unter Darstellung der charakteristischen Vorgänge der Strahlung.

**Ausführl., illustr. Katalog umsonst u. postfrei vom Verlag**

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin.

**Einführung in die theoretische Optik.** Von **A. Schuster**, Professor an der Universität Manchester. Autorisierte deutsche Ausgabe übersetzt von Dr. Heinrich Konen, Professor an der Universität Münster. Mit 2 Tafeln und 185 Figuren im Text. gr. 8. 1907. geh. n. ℳ 12.—, in Leinwand geb. ℳ 13.—.

Die deutsche Ausgabe des Schusterschen Lehrbuches rechtfertigt sich durch den Wunsch, auch dem Anfänger ein Werk zugänglich zu machen, das durch Reichhaltigkeit bei einfachster und klarster Behandlung, durch scharfe und kritische Fassung der Begriffe, und nicht zuletzt durch pädagogisch geschickte Wahl und Anordnung des Stoffes, die den Leser lückenlos zum Studium der Originalabhandlungen hinleitet, gleich ausgezeichnet ist. Von anderen Lehrbüchern der Optik unterscheidet sich das vorliegende nach der einen Seite dadurch, daß es vermeidet, auf Einzelheiten der Technik der optischen Versuche und Messungen einzugehen; nach der anderen macht es die auf dem Festlande weniger berücksichtigten Untersuchungen Lord Rayleighs in allen Zweigen der Optik nutzbar. Zudem ist die mechanische Optik der Besprechung der elektromagnetischen Theorie vorangestellt, da der Verfasser der Überzeugung ist, daß, so groß auch die Leistungen der elektromagnetischen Lichttheorie seien, diese dennoch und zumal bei rein formaler Auffassung, nicht das letzte Wort der theoretischen Optik sein könne: solange die Natur der Verschiebungen nicht bestimmt ist, die die elektrischen Wellen bilden, so lange können wir nicht behaupten, eine Theorie des Lichtes zu besitzen.

**Vorlesungen über die Theorie des Lichtes.** Von Dr. **P. Volkmann**, Professor an der Universität Königsberg i. Pr. Unter Rücksicht auf die elastische und die elektromagnetische Anschauung. Mit Figuren im Text. gr. 8. 1891. geh. ℳ 11.20.

In den vorliegenden Vorlesungen sucht der Verfasser eine übersichtliche Darstellung sowohl der elastischen wie elektromagnetischen Lichttheorie zu geben unter Hervorhebung ihrer Vorzüge und ihrer Mängel. Indem die Gesetze der vollkommenen Elastizität und der Elektrizität und des Magnetismus, die in ganz anderen Gebieten als denen der Optik ihre Bestätigung durch die Erfahrung erhalten haben, vorausgesetzt werden, ist es das Ziel des Buches, mit Hilfe dieser allgemein anerkannten Gesetze ohne weitere Hilfsannahmen eine Optik auf dem Boden der reinen Mechanik, soweit es angeht zu entwickeln. Es wird dabei allerdings auf die Vollständigkeit einer Behandlung der optischen Erscheinungen verzichtet, indem z. B. der Versuch einer theoretischen Behandlung der Dispersion ausgeschlossen bleibt.

Besonderer Wert ist auf eine übersichtliche Anordnung und Entwickelung des Stoffes gelegt, bei welcher zugleich die wesentlichen Fundamente der Theorie gesondert und deutlich hervortreten.

**Lehrbuch der Kristalloptik.** Von Dr. **F. Pockels**, Professor an der Universität Heidelberg. Mit 168 Figuren im Text und 6 Doppeltafeln. gr. 8. 1906. In Leinwand geb. ℳ 16.—.

In diesem Buch soll in erster Linie den Physikern, aber auch den Mathematikern und Mineralogen, die sich über die Probleme und Ergebnisse der Kristalloptik näher zu unterrichten wünschen, eine möglichst vollständige Übersicht der gegenwärtigen Kenntnisse auf diesem Gebiete der Optik geboten werden. Um auch den mit der theoretischen Physik weniger vertrauten Lesern das Eindringen zu erleichtern, werden die Gesetze der Lichtfortpflanzung in Kristallen zunächst aus Beobachtungstatsachen mit Hilfe passender Verallgemeinerung abgeleitet — also auf dem Wege, der in der Hauptsache auch derjenige der historischen Entwicklung gewesen ist —, und dann erst wird gezeigt, wie diese Gesetze sich aus den Differentialgleichungen der verschiedenen Lichttheorien ergeben. Von letzteren wird übrigens nach kurzer Charakterisierung der mechanischen Theorien weiterhin nur die elektromagnetische Theorie nebst ihren modernen, zur Erklärung der Dispersion, des Drehungsvermögens und der Absorption notwendigen Erweiterungen herangezogen.

# Aus Natur und Geisteswelt.

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens.

Jeder Band ist in sich abgeschlossen und einzeln käuflich.

**Jeder Band geh. M. 1.—, in Leinwand geb. M. 1.25.**

## Übersicht nach Wissenschaften geordnet.

### Allgemeines Bildungswesen. Erziehung u. Unterricht.

**Das deutsche Bildungswesen** in seiner geschichtlichen Entwicklung. Von weil. Prof. Dr. Friedrich Paulsen. 2. Auflage. Mit einem Geleitwort von Prof. Dr. W. Münch und einem Bildnis Paulsens. (Bd. 100.)
Eine unparteiische Darstellung der Entwicklungsgeschichte des deutschen Bildungswesens nach seinen Hauptrichtlinien, zugleich ein Spiegelbild deutscher Kulturentwicklung.

**Der Leipziger Student** von 1409—1909. Von Dr. Wilhelm Bruchmüller. Mit 25 Abbildungen. (Bd. 273.)
Eine zusammenfassende Kultur- und Sittengeschichte des Leipziger Studenten.

**Geschichte des deutschen Schulwesens.** Von Oberrealschuldirektor Dr. Karl Knabe. (Bd. 85.)
Eine übersichtliche Darstellung der Entwicklungsgeschichte des deutschen Schulwesens von seinen Anfängen an bis zum nationalen Humanismus der Gegenwart.

**Das deutsche Unterrichtswesen der Gegenwart.** Von Oberrealschuldirektor Dr. Karl Knabe. (Bd. 299.)
Bietet einen anregenden Überblick über das Gesamtgebiet des gegenwärtigen deutschen Unterrichtswesens.

**Allgemeine Pädagogik.** Von Prof. Dr. Th. Ziegler. 3. Aufl. (Bd. 33.)
Behandelt das mit der großen sozialen Frage unserer Zeit in so engem Zusammenhang stehende Problem der Volkserziehung in praktischer, selbständiger Weise und in sittlich-sozialem Geiste.

**Experimentelle Pädagogik** mit besonderer Rücksicht auf die Erziehung durch die Tat. Von Dr. W. A. Lay. Mit 2 Abbildungen. (Bd. 224.)
Behandelt Geschichte, Aufgaben, Wesen und Bedeutung der experimentellen Pädagogik und ihrer Forschungsmethode.

**Psychologie des Kindes.** Von Prof. Dr. Rob. Gaupp. 2., verbesserte Auflage. Mit 18 Abbildungen. (Bd. 213.)
Behandelt auf Grund der modernen wissenschaftlichen Forschungsmethoden und -Resultate die interessantesten und praktisch wichtigsten Kapitel der Kinderpsychologie unter Betonung der Bedeutung des psychologischen Versuchs für die Erkenntnis der Eigenart geistiger Tätigkeit wie der individuellen Verschiedenheiten im Kindesalter.

**Moderne Erziehung** in Haus und Schule. Von Johannes Tews. 2. Auflage. (Bd. 159.)
Die Erziehung als Grundproblem der modernen Kultur und kulturelle Pflicht jedes einzelnen.

**Großstadtpädagogik.** Von Johannes Tews. (Bd. 327.)
Hat die Probleme, die es für den Erzieher in Haus und Schule in der Großstadt zu lösen gilt, und die Maßnahmen, die hier getroffen werden müssen, wenn Hunderttausende von jungen Deutschen zu vollwertigen Bürgern des Reiches erzogen werden sollen, klar und fesselnd dargestellt.

**Schulkämpfe der Gegenwart.** Von Johannes Tews. 2. Aufl. (Bd. 111.)

Stellt die Probleme dar, um die es sich bei der Reorganisation der Volksschulen handelt, deren Stellung zu Staat und Kirche, Abhängigkeit vom Zeitgeist und Wichtigkeit für die Herausgestaltung einer volksfreundlichen Gesamtkultur scharf beleuchtet werden.

**Die höhere Mädchenschule** in Deutschland. Von Oberlehrerin Marie Martin. (Bd. 65.)

Bietet aus berufenster Feder eine Darstellung der Ziele, der historischen Entwicklung, der heutigen Gestalt und der Zukunftsaufgaben der höheren Mädchenschulen.

**Vom Hilfsschulwesen.** Von Rektor Dr. B. Maennel. (Bd. 73.)

Gibt in kurzen Zügen eine Theorie und Praxis der Hilfsschulpädagogik nach ihrem gegenwärtigen Stand und zugleich Richtlinien für ihre künftige Entwicklung.

**Das deutsche Fortbildungsschulwesen.** Von Direktor Dr. Friedrich Schilling. (Bd. 256.)

Würdigt die gegenwärtige Ausgestaltung des gesamten (einschließlich des gewerblichen und kaufmännischen) Fortbildungsschulwesens und zeichnet Richtlinien für einen konsequenten Weiterbau.

**Die Knabenhandarbeit** in der heutigen Erziehung. Von Seminar-Dir. Dr. A. Pabst. Mit 21 Abbildungen und 1 Titelbild. (Bd. 140.)

Gibt einen Überblick über die Geschichte des Knabenhandarbeitsunterrichts, untersucht seine Stellung im Lichte der modernen pädagogischen Strömungen sowie seinen Wert als Erziehungsmittel und erörtert sodann die Art des Betriebes in den verschiedenen Schulen und Ländern.

**Das moderne Volksbildungswesen.** Bücher- und Lesehallen, Volkshochschulen und verwandte Bildungseinrichtungen in den wichtigsten Kulturländern in ihrer Entwicklung seit der Mitte des neunzehnten Jahrhunderts. Von Stadtbibliothekar Dr. Gottlieb Fritz. Mit 14 Abbildungen. (Bd. 266.)

Gibt einen zusammenfassenden Überblick über das für den Aufschwung des geistigen Lebens der modernen Kulturvölker so wichtige Volksbildungswesen.

**Die amerikanische Universität.** Von Ph. D. Edward Delavan Perry. Mit 22 Abbildungen. (Bd. 206.)

Schildert die Entwicklung des gelehrten Unterrichts in Nordamerika, belehrt über das dortige innere und äußere akademische Leben und bietet interessante Vergleiche zwischen deutschem und amerikanischem Hochschulwesen.

**Technische Hochschulen** in Nordamerika. Von Prof. Siegmund Müller. Mit zahlreichen Abbildungen, Karte und Lageplan. (Bd. 190.)

Schildert, von lehrreichen Abbildungen unterstützt, die Einrichtungen und den Unterrichtsbetrieb der amerikanischen technischen Hochschulen in ihrer Eigenart.

**Volksschule und Lehrerbildung** der Vereinigten Staaten in ihren hervortretenden Zügen. Von Direktor Dr. Franz Kuppers. Mit 48 Abbildungen und 1 Titelbild. (Bd. 150.)

Schildert anschaulich das amerikanische Schulwesen vom Kindergarten bis zur Hochschule, überall das Wesentliche der amerikanischen Erziehungsweise (die stete Erziehung zum Leben, das Wecken des Betätigungstriebes, das Hindrängen auf praktische Verwertung usw.) hervorhebend.

**Deutsches Ringen nach Kraft und Schönheit.** Aus den literarischen Zeugnissen eines Jahrhunderts gesammelt. Von Turninspektor Karl Möller. In 2 Bänden. (Bd. 188/189.)

Band I: Von Schiller bis Lange. (Bd. 188.) Band II: In Vorbereitung.

Eine feinsinnige Auslese von Aussprüchen und Aufsätzen unserer führenden Geister über eine allseitig harmonische Ausbildung von Leib und Seele.

**Schulhygiene.** Von Prof. Dr. Leo Burgerstein. 2. Auflage. Mit 33 Figuren. (Bd. 96.)

Ein alle in Betracht kommenden Fragen gleichmäßig berücksichtigendes Gesamtbild der modernen Schulhygiene.

**Jugend-Fürsorge.** Von Waisenhaus-Direktor Dr. Johannes Petersen. 2 Bände. (Bd. 161. 162.)

Band I: Die öffentliche Fürsorge für die hilfsbedürftige Jugend. (Bd. 161.)
Band II: Die öffentliche Fürsorge für die sittlich gefährdete und die gewerblich tätige Jugend. (Bd. 162.)

Behandelt das gesamte öffentliche Fürsorgewesen, dessen Vorzüge und Mängel sowie die Möglichkeit der Reform.

**Pestalozzi.** Sein Leben und seine Ideen. Von Prof. Dr. Paul Natorp. Mit einem Bildnis und einem Brieffaksimile. (Bd. 250.)

Sucht durch systematische Darstellung der Prinzipien Pestalozzis und ihrer Durchführung eine von seiner zeitlichen Bedingtheit losgelöste Würdigung des Pädagogen anzubahnen.

**Herbarts Lehren und Leben.** Von Pastor O. Flügel. Mit einem Bildnisse Herbarts. (Bd. 164.)

Sucht durch liebevolle Darstellung von Herbarts Werden und Lehre seine durch eigenartige Terminologie und Deduktionsweise schwer verständliche Philosophie und Pädagogik weiteren Kreisen zugänglich zu machen.

**Friedrich Fröbel.** Sein Leben und sein Wirken. Von Adele von Portugall. Mit 5 Tafeln. (Bd. 82.)

Lehrt die grundlegenden Gedanken der Methode Fröbels kennen und gibt einen Überblick seiner wichtigsten Schriften mit Betonung aller jener Kernaussprüche, die treuen und oft ratlosen Müttern als Wegweiser in Ausübung ihres hehrsten und heiligsten Berufes dienen können.

Hierzu siehe ferner:

Hensel, Rousseau S. 6.

# Religionswissenschaft.

**Leben und Lehre des Buddha.** Von weil. Prof. Dr. Richard Pischel. 2. Auflage von Prof. Dr. H. Lüders. Mit 1 Tafel. (Bd. 109.)

Gibt eine allgemeinverständliche, wissenschaftliche Darstellung des Buddhismus in religiöser, ethischer, philosophischer und sozialer Hinsicht, seiner Geschichte und seines Verhältnisses zum Christentum.

**Germanische Mythologie.** Von Prof. Dr. Julius v. Negelein. (Bd. 95.)

Gibt ein Bild germanischen Glaubenslebens, indem es die Äußerungen religiösen Lebens, namentlich auch im Kultus und in den Gebräuchen des Aberglaubens aufsucht und sich überall bestrebt, das ihnen zugrunde liegende psychologische Motiv aufzudecken.

**Mystik im Heidentum und Christentum.** Von Dr. Edvin Lehmann. (Bd. 217.)

Verfolgt die Erscheinungen der Mystik von der niedrigsten Stufe durch die orientalischen Religionen bis zu den mystischen Phänomenen in den christlichen Kirchen aller Zeiten.

**Palästina** und seine Geschichte. Von Prof. Dr. Hermann Freiherr von Soden. 3. Auflage. Mit 2 Karten, 1 Plan von Jerusalem und 6 Ansichten des Heiligen Landes. (Bd. 6.)

Ein Bild, nicht nur des Landes selbst, sondern auch alles dessen, was aus ihm hervor- oder über es hingegangen ist im Laufe der Jahrhunderte, in deren Verlauf die Patriarchen Israels und die Kreuzfahrer, David und Christus, die alten Assyrer und die Scharen Mohammeds einander ablösten.

**Palästina** und seine Kultur in fünf Jahrtausenden. Nach den neuesten Ausgrabungen und Forschungen. Von Gymnasialoberlehrer Dr. Peter Thomsen. Mit 36 Abbildungen. (Bd. 260.)
Will, indem es die wichtigsten bis in das 4. Jahrtausend vor Christi zurückreichenden Ergebnisse der neuesten Ausgrabungen in Palästina zum ersten Male gemeinverständlich darstellt, zugleich ein Führer sein zu neuem und tieferem Eindringen in die geschichtlichen Grundlagen unserer Religion.

**Die Grundzüge der israelitischen Religionsgeschichte.** Von Prof. Dr. Friedrich Giesebrecht. 2. Auflage. (Bd. 52.)
Schildert, wie Israels Religion entsteht, wie sie die nationale Schale sprengt, um in den Propheten die Ansätze einer Menschheitsreligion auszubilden, und wie auch diese neue Religion sich verpuppt in die Formen eines Priesterstaats.

**Die Gleichnisse Jesu.** Zugleich Anleitung zu einem quellenmäßigen Verständnis der Evangelien. Von Lic. Prof. Dr. Heinrich Weinel. 3., verbesserte Auflage. (Bd. 46.)
Die beste Antwort auf die Frage „Hat Jesus gelebt?" als Anleitung zum historisch-kritischen Verständnis seiner Gleichnisse.

**Wahrheit und Dichtung im Leben Jesu.** Von Pfarrer D. Paul Mehlhorn. (Bd. 137.)
Will zeigen, was von dem im Neuen Testament uns überlieferten Leben Jesu als geschichtlich beglaubigter Tatbestand festzuhalten und was als Sage oder Dichtung zu betrachten ist.

**Jesus und seine Zeitgenossen.** Geschichtliches und Erbauliches. Von Pastor Carl Bonhoff. (Bd. 89.)
Sucht der ganzen Fülle und Eigenart der Persönlichkeit Jesu gerecht zu werden, indem es ihn in seinem Verkehr mit den ihn umgebenden Menschengestalten, Volks- und Parteigruppen zu verstehen sucht.

**Der Text des Neuen Testamentes nach seiner geschichtlichen Entwicklung.** Von Div.-Pfarrer August Pott. Mit 8 Tafeln. (Bd. 134.)
Will die Frage: „Ist der ursprüngliche Text des Neuen Testamentes überhaupt noch herzustellen?" durch eine Darstellung seiner Entwicklung von der ersten schriftlichen Fixierung bis zum heutigen „berichtigten" Text beantworten.

**Der Apostel Paulus und sein Werk.** Von Prof. Dr. Eberhard Vischer. (Bd. 309.)
Zeigt durch eingehende Darstellung von Leben und Lehre die Persönlichkeit des Apostels in ihrer zeitlichen Bedingtheit und in ihrer bleibenden weltgeschichtlichen Bedeutung.

**Christentum und Weltgeschichte.** Von Prof. Dr. K. Sell. 2 Bände.
Band I: Die Entstehung des Christentums und seine Entwicklung als Kirche. (Bd. 297.)
Band II: Das Christentum in seiner Entwicklung über die Kirche hinaus. (Bd. 298.)
Zeigt durch eingehende Charakterisierung der schöpferischen Persönlichkeiten die Wechselbeziehungen zwischen Kulturentwicklung und Christentum auf.

**Aus der Werdezeit des Christentums.** Studien und Charakteristiken. Von Prof. Dr. Johannes Geffcken. 2. Auflage. (Bd. 54.)
Ein Bild der vielseitigen, kultur- und religionsgeschichtlichen Bedingtheiten, unter denen die Werdezeit des Christentums steht.

**Luther im Lichte der neueren Forschung.** Ein kritischer Bericht. Von Prof. Dr. Heinrich Boehmer. 2. Auflage. Mit 2 Bildnissen Luthers. (Bd. 113.)
Gibt auf kulturgeschichtlichem Hintergrunde eine unparteiische, Schwächen und Stärken gleichmäßig beleuchtende Darstellung von Luthers Leben und Wirken.

**Johann Calvin.** Von Pfarrer Dr. G. Sodeur. Mit 1 Bildnis. (Bd. 247.)
Sucht durch eingehende Darstellung des Lebens und Wirkens sowie der Persönlichkeit des Genfer Reformators, sowie der Wirkungen, welche von ihm ausgingen, Verständnis für seine Größe und bleibende Bedeutung zu wecken.

**Die Jesuiten.** Eine historische Skizze. Von Prof. Dr. Heinrich Boehmer. 2. vermehrte Auflage. (Bd. 49.)
Ein Büchlein nicht für oder gegen, sondern über die Jesuiten, also der Versuch einer gerechten Würdigung des vielgenannten Ordens nach seiner bleibenden geschichtlichen Bedeutung.

**Die religiösen Strömungen der Gegenwart.** Von Superintendent D. August Heinrich Braasch. 2. Auflage. (Bd. 66.)
Will durch eine großzügige historische Übersicht über das an Richtungen und Problemen so reiche religiöse Leben der Gegenwart den innerlichsten und höchsten Lebenswerten gegenüber einen eigenen Standpunkt finden helfen.

**Die Stellung der Religion im Geistesleben.** Von Lic. Dr. Paul Kalweit. (Bd. 225.)
Will das Verhältnis der Religion zu dem übrigen Geistesleben, insbesondere zu Wissenschaft, Sittlichkeit und Kunst klarlegen, indem es die bedeutsamsten Anschauungen darüber erörtert.

**Religion und Naturwissenschaft** in Kampf und Frieden. Ein geschichtlicher Rückblick. Von Dr. August Pfannkuche. (Bd. 141.)
Will durch geschichtliche Darstellung der Beziehungen beider Gebiete eine vorurteilsfreie Beurteilung des heiß umstrittenen Problems ermöglichen.

## Philosophie und Psychologie.

**Einführung in die Philosophie.** Von Professor Dr. R. Richter. 2. Auflage. (Bd. 155.)
Bietet eine anschauliche, zugleich wissenschaftlich-gründliche Darstellung der philosophischen Hauptprobleme und der Richtungen ihrer Lösung, insbesondere des Erkenntnisproblems, und nimmt dabei, nach einer vorherigen Abgrenzung des Gebietes der Philosophie und Bestimmung ihrer Aufgabe, zu den Standpunkten des Materialismus, Spiritualismus, Theismus und Pantheismus Stellung, um zum Schlusse die Fragen der Moral- und Religionsphilosophie zu beleuchten.

**Die Philosophie.** Einführung in die Wissenschaft, ihr Wesen und ihre Probleme. Von Realschuldirektor Hans Richert. (Bd. 186.)
Will die Stellung der Philosophie im Geistesleben der Gegenwart beleuchten, ihren Wert als Weltanschauung sicher stellen, ihre Grundprobleme und deren Lösungsversuche charakterisieren und in die philosophische Literatur einführen.

**Führende Denker.** Geschichtliche Einleitung in die Philosophie. Von Prof. Dr. Jonas Cohn. Mit 6 Bildnissen. (Bd. 176.)
Will durch Geschichte in die Philosophie einführen, indem es von sechs großen Denkern, Sokrates und Platon, Descartes und Spinoza, Kant und Fichte das für die Philosophie dauernd Bedeutende herauszuarbeiten sucht aus der Überzeugung, daß aus der Kenntnis der Persönlichkeiten am besten das Verständnis für ihre Gedanken zu gewinnen ist.

**Griechische Weltanschauung.** Von Privatdoz. Dr. M. Wundt. (Bd. 329.)
Eine einheitlich zusammenfassende Übersicht über das Vorbildliche und allgemein Wertvolle in der Entwicklungsgeschichte der griechischen Weltanschauung.

**Die Weltanschauungen** der großen Philosophen der Neuzeit. Von weil. Prof. Dr. Ludwig Busse. 4. Auflage, herausgegeben von Prof. Dr. R. Falckenberg. (Bd. 56.)
Eine sich auf die Darstellung der großen klassischen Systeme beschränkende, aber deren beherrschende und charakteristische Grundgedanken herausarbeitende und so ein klares Gesamtbild der in ihm enthaltenen Weltanschauungen entwerfende Einführung in die neuere Philosophie.

**Die Philosophie** der Gegenwart in Deutschland. Eine Charakteristik ihrer Hauptrichtungen. Von Prof. Dr. Oswald Külpe. 5. Auflage. (Bd. 41.)
Schildert die vier Hauptrichtungen der modernen deutschen Philosophie: den Positivismus, Materialismus, Naturalismus und Idealismus unter eingehender Würdigung der bedeutendsten Vertreter der verschiedenen Richtungen.

**Rousseau.** Von Prof. Dr. Paul Hensel. Mit 1 Bildnisse. (Bd. 180.)
Stellt Rousseau als Vorläufer des deutschen Idealismus, seine Lebensarbeit als unumgängliche Voraussetzung für Goethe, Schiller, Herder, Kant, Fichte dar.

**Immanuel Kant.** Darstellung und Würdigung. Von Prof. Dr. Oswald Külpe. 2. Auflage. Mit einem Bildnisse Kants. (Bd. 146.)
Eine Einführung in das Verständnis Kants und eine Würdigung seiner Philosophie in ihrer unvergleichlichen und schier unerschöpflichen Kraft der Anregung, wie seiner Persönlichkeit in ihrer echten in sich geschlossenen Eigenart.

**Schopenhauer.** Seine Persönlichkeit, seine Lehre, seine Bedeutung. Sechs Vorträge von Realschuldirektor Hans Richert. 2. Auflage. Mit dem Bildnis Schopenhauers. (Bd. 81.)
Gibt, in das Werden dieses großen deutschen Philosophen und Schriftstellers mit seinen geschichtlichen Bedingungen und Nachwirkungen einführend, einen zusammenfassenden Überblick über das Ganze seines Systems.

**Herbert Spencer.** Von Dr. Karl Schwarze. Mit 1 Bildnisse. (Bd. 245.)
Gibt eine klar gefaßte Darstellung des Lebens und des auf dem Entwicklungsgedanken aufgebauten Systems Herbert Spencers nach seinen verschiedenen Seiten, nämlich philosophische Grundlegung, Biologie, Psychologie, Soziologie und Ethik.

**Das Weltproblem** von positivistischem Standpunkte aus. Von Prof. Dr. Josef Petzoldt. (Bd. 133.)
Sucht die Geschichte des Nachdenkens über die Welt als eine sinnvolle Geschichte von Irrtümern psychologisch verständlich zu machen im Dienste der von Schuppe, Mach und Avenarius vertretenen Anschauung, daß es keine Welt an sich, sondern nur eine Welt für uns gibt.

**Aufgaben und Ziele des Menschenlebens.** Von Dr. J. Unold. 3. Auflage. (Bd. 12.)
Stellt sich in den Dienst einer nationalen Erziehung, indem es zuversichtlich und besonnen eine von konfessionellen Schranken unabhängige, wissenschaftlich haltbare Lebensanschauung und Lebensordnung begründet und entwickelt.

**Sittliche Lebensanschauungen** der Gegenwart. Von Prof. Dr. Otto Kirn. (Bd. 177.)
Übt verständnisvolle Kritik an den Lebensanschauungen des Naturalismus, des Utilitarismus, des Evolutionismus, an der ästhetischen Lebensauffassung, um dann für das überlegene Recht des sittlichen Idealismus einzutreten, indem es dessen folgerichtige Durchführung in der christlichen Weltanschauung aufweist.

**Die Mechanik des Geisteslebens.** Von Prof. Dr. Max Verworn. 2. Auflage. Mit 18 Figuren. (Bd. 200.)
Schildert vom monistischen Standpunkt aus die modernen Anschauungen über die physiologischen Grundlagen der Gehirnvorgänge.

**Die Seele des Menschen.** Von Prof. Dr. Joh. Rehmke. 3. Aufl. (Bd. 36.)
Gibt allgemeinverständlich eine eingehende wissenschaftliche Antwort auf die Grundfrage: „Was ist die Seele?"

**Hypnotismus und Suggestion.** Von Dr. Ernst Trömner. (Bd. 199.)
Bietet eine rein sachliche Darstellung der Lehre von Hypnotismus und Suggestion und zeigt deren Einfluß auf die wichtigsten Kulturgebiete.

## Hierzu siehe ferner:

Hamann, Die Ästhetik S. 8. Lehmann, Mystik in Heidentum und Christentum S. 3. Pischel, Leben und Lehre des Buddha S. 3. Flügel, Herbarts Lehre und Leben S. 3. Pfannkuche, Naturwissenschaft und Religion in Kampf und Frieden S. 5. Volbehr, Bau und Leben der bildenden Kunst S. 8. Muckle, Geschichte der sozialistischen Ideen im 19. Jahrhundert S. 15.

# Literatur und Sprache.

**Die Sprachstämme des Erdkreises.** Von weil. Prof. Dr. Franz Nikolaus Finck. (Bd. 267.)
Gibt einen auf den Resultaten moderner Sprachforschung aufgebauten, umfassenden Überblick über die Sprachstämme des Erdkreises, ihre Verzweigungen in Einzelsprachen sowie über deren gegenseitige Zusammenhänge.

**Die Haupttypen des menschlichen Sprachbaues.** Von weil. Prof. Dr. Franz Nikolaus Finck. (Bd. 268.)
Will durch Erklärung je eines charakteristischen Textes aus acht Hauptsprachtypen einen unmittelbaren Einblick in die Gesetze der menschlichen Sprachbildung geben.

**Entstehung und Entwicklung unserer Muttersprache.** Von Prof. Dr. Wilhelm Uhl. Mit vielen Abbildungen und 1 Karte. (Bd. 84.)
Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der sprachlich-wissenschaftlich lautphysiologischen wie der philologisch-germanistischen Forschung, die Ursprung und Organ, Bau und Bildung, andererseits die Hauptperioden der Entwicklung unserer Muttersprache zur Darstellung bringt.

**Rhetorik.** Richtlinien für die Kunst des Sprechens. Von Dr. Ewald Geißler. (Bd. 310.)
Eine zeitgemäße Rhetorik für den Berufsredner wie für jeden nach sprachlicher Ausdrucksfähigkeit Strebenden.

**Die deutschen Personennamen.** Von Direktor A. Bähnisch. (Bd. 296.)
Gibt einen vollständigen historischen Überblick über das gesamte Gebiet der deutschen Vor- und Familiennamen und erklärt ihre Entstehung und Bedeutung nach ihren verschiedenen Gattungen.

**Das deutsche Volkslied.** Über Wesen und Werden des deutschen Volksgesanges. Von Dr. J. W. Bruinier. 4. Auflage. (Bd. 7.)
Handelt in schwungvoller Darstellung vom Wesen und Werden des deutschen Volksgesanges, unterrichtet über die deutsche Volksliederpflege in der Gegenwart, über Wesen und Ursprung des deutschen Volksgesanges, Skop und Spielmann, Geschichte und Mär, Leben und Liebe.

**Die deutsche Volkssage.** Übersichtlich dargestellt. Von Dr. Otto Böckel. (Bd. 262.)
Bietet zum erstenmal eine vollständige Übersicht über die reichen Schätze der deutschen Volkssage, als des tiefverschütteten Grundes deutscher Anschauungs- und Denkweise.

**Das Theater.** Schauspielhaus und Schauspielkunst vom griech. Altertum bis auf die Gegenwart. Von Dr. Christian Gaehde. Mit 20 Abbild. (Bd. 230.)
Eine Geschichte des Theaters vom griechischen Altertum durch Mittelalter und Renaissance bis auf die Schauspielkunst der Gegenwart, deren verschiedene Strömungen in ihren historischen und psychologischen Bedingungen dargestellt werden.

**Das Drama.** Band I. Von der Antike zum französischen Klassizismus. Von Dr. Bruno Busse. Mit 3 Abbildungen. (Bd. 287.)
Verfolgt die Entwicklung des Dramas von den primitiven Anfängen über Altertum, Mittelalter und Renaissance bis zum französischen Klassizismus.

**Geschichte der deutschen Lyrik seit Claudius.** Von Dr. Heinrich Spiero. (Bd. 254.)
Schildert unter liebevoller Würdigung der größten und feinsten Meister des Liedes an der Hand wohlgewählter Proben die Entwicklungsgeschichte der deutschen Lyrik.

**Schiller.** Von Prof. Dr. Theobald Ziegler. Mit dem Bildnis Schillers von Kügelgen in Heliogravüre. 2. Auflage. (Bd. 74.)
Will durch eingehende Analyse der Einzelwerke in das Verständnis von Schillers Leben und Gedankenwelt einführen.

**Das deutsche Drama** des neunzehnten Jahrhunderts. In seiner Entwicklung dargestellt von Prof. Dr. Georg Witkowski. 3. Auflage. Mit einem Bildnis Hebbels. (Bd. 51.)
Sucht in erster Linie auf historischem Wege das Verständnis des Dramas der Gegenwart anzubahnen und berücksichtigt die drei Faktoren, deren jeweilige Beschaffenheit die Gestaltung des Dramas bedingt: Kunstanschauung, Schauspielkunst und Publikum.

**Deutsche Romantik.** Von Prof. Dr. Oskar F. Walzel. (Bd. 232.)
Gibt auf Grund der modernen Forschungen ein knappes, lebendiges Bild jener Epoche, deren Wichtigkeit für unser Bewußtsein ständig wächst, und die an Reichtum der Gefühle, Gedanken und Erlebnisse von keiner anderen übertroffen wird.

**Friedrich Hebbel.** Von Dr. Anna Schapire-Neurath. Mit einem Bildnisse Hebbels. (Bd. 238.)
Gibt eine eindringende Analyse des Werkes und der Weltanschauung des großen deutschen Tragikers.

**Gerhart Hauptmann.** Von Prof. Dr. E. Sulger-Gebing. Mit einem Bildnisse Gerhart Hauptmanns. (Bd. 283.)
Sucht durch eindringende Analyse des Einzelwerkes in die Gedankenwelt Gerhart Hauptmanns einzuführen.

**Henrik Ibsen, Björnstjerne Björnson** und ihre Zeitgenossen. Von Prof. Dr. B. Kahle. Mit 7 Bildnissen. (Bd. 193.)
Sucht Entwicklung und Schaffen Ibsens und Björnsons sowie der bedeutendsten jungen norwegischen Dichter auf Grund der Veranlagung und Entwicklung des norwegischen Volkes verständlich zu machen und im Zusammenhang mit den kulturellen Strömungen der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts darzustellen.

**Shakespeare** und seine Zeit. Von Prof. Dr. Ernst Sieper. Mit 3 Tafeln und 3 Textbildern. (Bd. 185.)
Schildert Shakespeare und seine Zeit, seine Vorgänger und eigenartige Bühne, seine Persönlichkeit und seine Entwicklung als Mensch und Künstler und erörtert die vielumstrittene Shakespeare-Bacon-Frage.

Hierzu siehe ferner:

**Gerber,** Die menschliche Stimme S. 20. **Das Buchgewerbe und die Kultur** S. 12.

# Bildende Kunst und Musik.

**Bau und Leben der bildenden Kunst.** Von Direktor Dr. Theodor Volbehr. Mit 44 Abbildungen. (Bd. 68.)
Führt von einem neuen Standpunkte aus in das Verständnis des Wesens der bildenden Kunst ein, erörtert die Grundlagen der menschlichen Gestaltungskraft und zeigt, wie das künstlerische Interesse sich allmählich weitere und immer weitere Stoffgebiete erobert.

**Die Ästhetik.** Von Dr. Richard Hamann. (Bd. 345.)

**Die Entwicklungsgeschichte der Stile in der bildenden Kunst.** Von Dr. Ernst Cohn-Wiener. 2 Bände. (Bd. 317/318.)
Band I: Vom Altertum bis zur Gotik. Mit 57 Abbildungen. (Bd. 317.)
Band II: Von der Renaissance bis zur Gegenwart. Mit 31 Abbildungen. (Bd. 318.)
Die erste Darstellung der Entwicklungsgeschichte der Stile von der ältesten ägyptischen Kunst bis zum modernen Impressionismus unter modernen kulturpsychologischen Gesichtspunkten.

**Die Blütezeit der griechischen Kunst** im Spiegel der Reliefsarkophage. Eine Einführung in die griechische Plastik. Von Dr. H. Wachtler. Mit 8 Tafeln und 32 Abbildungen. (Bd. 272.)
Mbt an der Hand der Entwicklung des griechischen Sarkophags eine Entwicklungsgeschichte der gesamten griechischen Plastik in ihrem Zusammenhang mit Kultur und Religion.

**Deutsche Baukunst im Mittelalter.** Von Prof. Dr. Adelbert Matthaei. 2. Auflage. Mit 29 Abbildungen. (Bd. 8.)

Will mit der Darstellung der Entwicklung der deutschen Baukunst des Mittelalters über das Wesen der Baukunst aufklären, indem es zeigt, wie sich im Verlauf der Entwicklung die Raumvorstellung klärt und vertieft, wie das technische Können wächst und die praktischen Aufgaben sich erweitern.

**Deutsche Baukunst seit dem Mittelalter bis zum Ausgang des 18. Jahrhunderts.** Von Prof. Dr. Adelbert Matthaei. Mit 62 Abbildungen und 3 Tafeln. (Bd. 326.)

Eine Einführung in das Verständnis der Architekturentwicklung in Deutschland von der Gotik bis zum Barock.

**Die deutsche Illustration.** Von Prof. Dr. Rudolf Kautzsch. Mit 35 Abbildungen. (Bd. 44.)

Behandelt ein besonders wichtiges und lehrreiches Gebiet der Kunst und leistet zugleich, indem es an der Hand der Geschichte das Charakteristische der Illustration als Kunst zu erforschen sucht, ein gut Teil „Kunsterziehung".

**Deutsche Kunst im täglichen Leben bis zum Schlusse des 18. Jahrhunderts.** Von Prof. Dr. Berthold Haendcke. Mit 63 Abbildungen. (Bd. 198.)

Zeigt an der Hand zahlreicher Abbildungen, wie die angewandte Kunst im Laufe der Jahrhunderte das deutsche Heim in Burg, Schloß und Haus behaglich gemacht und geschmückt hat, wie die Gebrauchs- und Luxusgegenstände des täglichen Lebens entstanden sind und sich gewandelt haben.

**Albrecht Dürer.** Von Dr. Rudolf Wustmann. Mit 33 Abb. (Bd. 97.)

Eine schlichte und knappe Erzählung des gewaltigen menschlichen und künstlerischen Entwicklungsganges Albrecht Dürers, verbunden mit einer eingehenden Analyse seiner vorzüglichsten Werke.

**Rembrandt.** Von Prof. Dr. Paul Schubring. Mit 50 Abb. (Bd. 158.)

Eine durch zahlreiche Abbildungen unterstützte lebensvolle Darstellung des menschlichen und künstlerischen Entwicklungsganges Rembrandts.

**Ostasiatische Kunst und ihr Einfluß auf Europa.** Von Direktor Prof. Dr. Richard Graul. Mit 49 Abbildungen. (Bd. 87.)

Bringt unter Mitteilung eines reichen Bildermaterials die mehr als einmal für die Entwicklung der Kunst bedeutsame Einwirkung der japanischen und chinesischen Kunst auf die europäische zur Darstellung.

**Kunstpflege in Haus und Heimat.** Von Superintendent Richard Bürkner. 2. Auflage. Mit 29 Abbildungen. (Bd. 77.)

Zeigt, daß gesunde Kunstpflege zu wahrem Menschentum gehört, und wie es jedermann in seinen Verhältnissen möglich ist, sie zu verwirklichen.

**Geschichte der Gartenkunst.** Von Reg.-Baumeister Chr. Ranck. Mit 41 Abbildungen. (Bd. 274.)

Eine Geschichte des Gartens als Kunstwerk, vom Altertum bis zu den modernen Bestrebungen.

**Die Grundlagen der Tonkunst.** Versuch einer genetischen Darstellung der allgemeinen Musiklehre. Von Prof. Dr. Heinrich Rietsch. (Bd. 178.)

Ein anschauliches Entwicklungsbild der musikalischen Erscheinungen, des Stoffes der Tonkunst, wie seiner Bearbeitung und der Musik als Tonsprache.

**Einführung in das Wesen der Musik.** Von Prof. Carl R. Hennig. (Bd. 119.)

Untersucht das Wesen des Tones als eines Kunstmaterials, prüft die Natur der musikalischen Darstellungsmittel und erörtert die Objekte der Darstellung, indem sie klarlegt, welche Ideen im musikalischen Kunstwerke gemäß der Natur des Tonmaterials und der Darstellungsmittel zur Darstellung gebracht werden können.

**Klavier, Orgel, Harmonium.** Das Wesen der Tasteninstrumente. Von Prof. Dr. O. Bie. (Bd. 325.)
Will an Hand einer Darstellung ihrer Entwicklung das Verständnis vom Bau, Wesen und musikalischer Wirkung der drei Tasteninstrumente Klavier, Orgel, Harmonium vermitteln.

**Geschichte der Musik.** Von Dr. Friedrich Spiro. (Bd. 143.)
Gibt in großen Zügen eine übersichtliche, äußerst lebendig gehaltene Darstellung von der Entwicklung der Musik vom Altertum bis zur Gegenwart mit besonderer Berücksichtigung der führenden Persönlichkeiten und der großen Strömungen.

**Haydn, Mozart, Beethoven.** Von Prof. Dr. Carl Krebs. Mit vier Bildnissen auf Tafeln. (Bd. 92.)
Eine Darstellung des Entwicklungsganges und der Bedeutung eines jeden der drei großen Komponisten für die Musikgeschichte. Sie gibt mit wenigen, aber scharfen Strichen ein Bild der menschlichen Persönlichkeit und des künstlerischen Wesens der drei Heroen mit Hervorhebung dessen, was ein jeder aus seiner Zeit geschöpft und was er aus Eignem hinzugebracht hat.

**Die Blütezeit der musikalischen Romantik** in Deutschland. Von Dr. Edgar Istel. Mit einer Silhouette von E. T. A. Hoffmann. (Bd. 239.)
Gibt eine erstmalige Gesamtdarstellung der Epoche Schuberts und Schumanns, der an Persönlichkeiten, Schöpfungen und Anregungen reichsten der deutschen Musikgeschichte.

**Das Kunstwerk Richard Wagners.** Von Dr. Edgar Istel. Mit 1 Bildnis R. Wagners. (Bd. 330.)
Führt durch eingehende Schilderung des Entwicklungsganges Richard Wagners zu einem wirklichen Verständnis seiner Werke.

**Das moderne Orchester** in seiner Entwicklung. Von Prof. Dr. Fritz Volbach. Mit Partiturbeispielen und 2 Instrumententabellen. (Bd. 308.)
Gibt zum ersten Male einen Überblick über die Entwicklungsgeschichte der Orchestrierung vom Altertum bis auf Richard Strauß.

## Geschichte und Kulturgeschichte.

**Die Anfänge der menschlichen Kultur.** Von Prof. Dr. Ludwig Stein. (Bd. 93.)
Behandelt als Einführung in die Kulturprobleme der Gegenwart den vorgeschichtlichen Menschen, die Anfänge der Arbeitsteilung, die Anfänge der Rassenbildung sowie der wirtschaftlichen, intellektuellen, moralischen und sozialen Kultur.

**Kulturbilder aus griechischen Städten.** Von Oberlehrer Dr. Erich Ziebarth. Mit 22 Abbildungen im Text und auf 1 Tafel. (Bd. 131.)
Sucht auf Grund der Ausgrabungen und der inschriftlichen Denkmäler ein anschauliches Bild von dem Aussehen einer altgriechischen Stadt und von dem städtischen Leben in ihr zu entwerfen.

**Pompeji,** eine hellenistische Stadt in Italien. Von Prof. Dr. Friedrich v. Duhn. 2. Auflage. Mit 62 Abbildungen. (Bd. 114.)
Schildert auf Grund der neuesten Ausgrabungs- und Forschungsergebnisse Pompeji als Beispiel für die Entwicklung der nach Italien übertragenen griechischen Kultur und Kunst zur Weltkultur und Weltkunst.

**Soziale Kämpfe im alten Rom.** Von Privatdozent Dr. Leo Bloch. 2. Auflage. (Bd. 22.)
Behandelt die Sozialgeschichte Roms, soweit sie mit Rücksicht auf die die Gegenwart bewegenden Fragen von allgemeinem Interesse ist.

**Byzantinische Charakterköpfe.** Von Privatdozent Dr. Karl Dieterich. Mit 2 Bildnissen. (Bd. 244.)
Bietet durch Charakterisierung markanter Persönlichkeiten einen Einblick in das wirkliche Wesen des gemeinhin so wenig bekannten und doch so wichtigen mittelalterlichen Byzanz.

**Germanische Kultur** in der Urzeit. Von Prof. Dr. Georg Steinhausen. 2. Auflage. Mit 13 Abbildungen. (Bd. 75.)
Beruht auf eingehender Quellenforschung und gibt in fesselnder Darstellung einen Überblick über germanisches Leben von der Urzeit bis zur Berührung der Germanen mit der römischen Kultur.

**Mittelalterliche Kulturideale.** Von Prof. Dr. V. Vedel. 2 Bände.
Band I: Heldenleben. (Bd. 292.)
Band II: Ritterromantik. (Bd. 293.)
Zeichnet auf Grund besonders der griechischen, germanischen, persischen und nordischen Heldendichtung ein Bild des heroischen Kriegerideals, um so Verständnis für die bleibende Bedeutung dieses Ideals für die Ausbildung der Kultur der Menschheit zu wecken.

**Deutsches Frauenleben** im Wandel der Jahrhunderte. Von Dir. Dr. Eduard Otto. 2. Auflage. Mit 27 Abbildungen. (Bd. 45.)
Gibt ein Bild des deutschen Frauenlebens von der Urzeit bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts, von Denken und Fühlen, Stellung und Wirksamkeit der deutschen Frau, wie sie sich im Wandel der Jahrhunderte darstellt.

**Deutsche Städte und Bürger** im Mittelalter. Von Prof. Dr. B. Heil. 2. Auflage. Mit zahlreichen Abbildungen und 1 Doppeltafel. (Bd. 43.)
Stellt die geschichtliche Entwicklung dar, schildert die wirtschaftlichen, sozialen und staatsrechtlichen Verhältnisse und gibt ein zusammenfassendes Bild von der äußeren Erscheinung und dem inneren Leben der deutschen Städte.

**Historische Städtebilder** aus Holland und Niederdeutschland. Von Regierungs-Baumeister a. D. Albert Erbe. Mit 59 Abbildungen. (Bd. 117.)
Will dem Sinn für die Reize der alten malerischen Städtebilder durch eine Schilderung der eigenartigen Herrlichkeit Alt-Hollands wie Niederdeutschlands, ferner Danzigs, Lübecks, Bremens und Hamburgs nicht nur vom rein künstlerischen, sondern auch vom kulturgeschichtlichen Standpunkt aus entgegen kommen.

**Das deutsche Dorf.** Von Robert Mielke. Mit 51 Abbild. (Bd. 192.)
Schildert die Entwicklung des deutschen Dorfes von den Anfängen dörflicher Siedelungen an bis in die Neuzeit, in der uns ein fast wunderbares Mosaik ländlicher Siedelungstypen entgegentritt.

**Das deutsche Haus** und sein Hausrat. Von Prof. Dr. Rudolf Meringer. Mit 106 Abbildungen. (Bd. 116.)
Will das Interesse an dem deutschen Hause, wie es geworden ist, fördern, indem es das „Herdhaus", das oberdeutsche Haus, die Einrichtung der für dieses charakteristischen Stube, den Ofen, den Tisch, das Eßgerät schildert und einen Überblick über die Herkunft von Haus und Hausrat gibt.

**Kulturgeschichte des deutschen Bauernhauses.** Von Regierungsbaumeister a. D. Christian Rauck. Mit 70 Abbildungen. (Bd. 121.)
Gibt eine Entwicklungsgeschichte des deutschen Bauernhauses von der germanischen Urzeit über Skandinavien und Mittelalter bis zur Gegenwart.

**Geschichte des deutschen Bauernstandes.** Von Prof. Dr. Heinrich Gerdes. Mit 21 Abbildungen. (Bd. 320.)
Gibt eine Darstellung der schicksalsreichen Entwicklungsgeschichte des deutschen Bauernstandes von der germanischen Urzeit bis zur Gegenwart.

**Das deutsche Handwerk** in seiner kulturgeschichtlichen Entwicklung. Von Direktor Dr. Eduard Otto. 3. Auflage. Mit 27 Abbildungen. (Bd. 14.)
Eine Darstellung der Entwicklung des deutschen Handwerks bis in die neueste Zeit und der Handwerkerbewegungen des 19. Jahrhunderts wie des älteren Handwerkslebens, seiner Sitten, Bräuche und Dichtung.

**Deutsche Volksfeste und Volkssitten.** Von Hermann S. Rehm. Mit 11 Abbildungen. (Bd. 214.)
Will durch die Schilderung der wichtigsten deutschen Volksfeste und Bräuche Teilnahme und Verständnis für sie als Äußerungen des Seelenlebens unseres Volkes neu erwecken und beleben.

**Deutsche Volkstrachten.** Von Pfarrer Carl Spieß. (Bd. 342.)

**Die Münze** als historisches Denkmal sowie ihre Bedeutung im Rechts- und Wirtschaftsleben. Von Prof. Dr. Arnold Luschin v. Ebengreuth. Mit 53 Abbildungen. (Bd. 91.)
Zeigt, wie Münzen zur Aufhellung der wirtschaftlichen Zustände und der Rechtseinrichtungen früherer Zeiten dienen; legt die verschiedenen Arten von Münzen, ihre äußeren und inneren Merkmale sowie ihre Herstellung in historischer Entwicklung dar und gibt im Anschluß daran Münzensammlern beherzigenswerte Winke.

**Das Buchgewerbe und die Kultur.** Sechs Vorträge, gehalten im Auftrage des Deutschen Buchgewerbevereins. Mit 1 Abbildung. (Bd. 182.)
Inhalt: Buchgewerbe und Wissenschaft: Prof. Dr. Rudolf Focke. — Buchgewerbe und Literatur: Prof. Dr. Georg Witkowski. — Buchgewerbe und Kunst: Prof. Dr. Rudolf Kautzsch. — Buchgewerbe und Religion: Privatdozent Lic. Dr. Heinrich Hermelink. — Buchgewerbe und Staat: Prof. Dr. Robert Wuttke. — Buchgewerbe und Volkswirtschaft: Prof. Dr. Heinrich Waentig.
Will für das mit sämtlichen Gebieten deutscher Kultur durch tausend Fäden verknüpfte Buchgewerbe verständnisvolle Freunde, tatkräftige Berufsgenossen werben.

**Schrift- und Buchwesen** in alter und neuer Zeit. Von Prof. Dr. O. Weise. 3., verbesserte Auflage. Mit 37 Abbildungen. (Bd. 4.)
Ein Überblick über die Entwicklung des Schrift-, Brief- und Zeitungswesens, des Buchhandels und der Bibliotheken von den Zeiten der Babylonier bis auf die modernsten technischen Errungenschriften.

**Das Zeitungswesen.** Von Dr. Hermann Diez. (Bd. 328.)
Will durch Aufweisung der historischen und sozialen Grundlagen des heutigen Pressewesens zu einem Verständnis dieses mächtigen modernen Kulturfaktors führen.

**Das Zeitalter der Entdeckungen.** Von Prof. Dr. Siegmund Günther. 2. Auflage. Mit einer Weltkarte. (Bd. 26.)
Schildert die großen weltbewegenden Ereignisse der geographischen Renaissancezeit von der Begründung der portugiesischen Kolonialherrschaft und den Fahrten des Kolumbus an bis zu dem Hervortreten der französischen, britischen und holländischen Seefahrer.

**Von Luther zu Bismarck.** 12 Charakterbilder aus deutscher Geschichte. Von Prof. Dr. Ottocar Weber. 2 Bände. (Bd. 123. 124.)
Ein knappes und doch eindrucksvolles Bild der nationalen und kulturellen Entwicklung der Neuzeit, das aus den vier Jahrhunderten je drei Persönlichkeiten herausgreift, die bestimmend eingegriffen haben in den Werdegang deutscher Geschichte.

**Friedrich der Große.** Sechs Vorträge. Von Prof. Dr. Theodor Bitterauf. Mit 2 Bildnissen. (Bd. 246.)
Schildert in knapper, wohldurchdachter, durch charakteristische Selbstzeugnisse und authentische Äußerungen bedeutender Zeitgenossen belebter Darstellung des großen Königs Leben und Wirken, das den Grund gelegt hat für die ganze spätere geschichtliche und kulturelle Entwicklung Deutschlands.

**Geschichte der Französischen Revolution.** Von Prof. Dr. Theodor Bitterauf. (Bd. 346.)

**Napoleon I.** Von Prof. Dr. Theodor Bitterauf. 2. Auflage. Mit einem Bildnis Napoleons. (Bd. 196.)
Will zum Verständnis für das System Napoleons führen und zeigen, wie die napoleonischen Kriege nur unter dem Gesichtswinkel der imperialistischen Politik zu verstehen sind.

**Politische Hauptströmungen in Europa** im 19. Jahrhundert. Von Prof. Dr. Karl Theodor v. Heigel. 2. Auflage. (Bd. 129.)
Bietet eine knappe Darstellung der wichtigsten politischen Ereignisse im 19. Jahrhundert, womit eine Schilderung der politischen Ideen Hand in Hand geht, und wobei der innere Zusammenhang der einzelnen Vorgänge dargelegt, auch Sinnesart und Taten wenigstens der einflußreichsten Persönlichkeiten gewürdigt werden.

**Restauration und Revolution.** Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der deutschen Einheit. Von Prof. Dr. Richard Schwemer. 2. Aufl. (Bd. 37.)

**Die Reaktion und die neue Ära.** Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der Gegenwart. Von Prof. Dr. Richard Schwemer. (Bd. 101.)

**Vom Bund zum Reich.** Neue Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der deutschen Einheit. Von Prof. Dr. Richard Schwemer. (Bd. 102.)

Die 3 Bände geben zusammen eine in Auffassung und Darstellung durchaus eigenartige Geschichte des deutschen Volkes im 19. Jahrhundert. „Restauration und Revolution" behandelt das Leben und Streben des deutschen Volkes von dem ersten Aufleuchten des Gedankens des nationalen Staates bis zu dem tragischen Fehlschlagen aller Hoffnungen in der Mitte des Jahrhunderts. „Die Reaktion und die neue Ära", beginnend mit der Zeit der Ermattung nach dem großen Aufschwung von 1848, stellt in den Mittelpunkt des Prinzen von Preußen und Otto von Bismarcks Schaffen. „Vom Bund zum Reich" zeigt uns Bismarck mit sicherer Hand die Grundlage des Reiches vorbereitend und dann immer entschiedener allem Geschehenen das Gepräge seines Geistes verleihend.

**1848.** Sechs Vorträge. Von Prof. Dr. Ottocar Weber. 2. Aufl. (Bd. 53.)

Sucht in kritischer, abwägender Darstellung den einzelnen Ständen und Parteien, den rechts und links auftreibenden Extremen gerecht zu werden und hebt besonders den großartigen deutschnationalen Aufschwung jenes Jahres hervor.

**Österreichs innere Geschichte** von 1848 bis 1907. Von Richard Charmatz. 2 Bände. (Bd. 242. 243.)

Band I: Die Vorherrschaft der Deutschen. (Bd. 242.)
Band II: Der Kampf der Nationen. (Bd. 243.)

Gibt zum ersten Male in lebendiger und klarer Sprache eine Gesamtdarstellung der Entstehung des modernen Österreichs, seiner interessanten, durch das Zusammenwirken der verschiedensten Faktoren bedingten innerpolitischen Entwicklung seit 1848.

**Englands Weltmacht** in ihrer Entwicklung vom 17. Jahrh. bis auf unsere Tage. Von Prof. Dr. Wilh. Langenbeck. Mit 19 Bildnissen. (Bd. 174.)

Eine großzügige und fesselnde Darstellung der für uns so bedeutsamen Entwicklung des britischen Weltreichs, seiner inneren und äußeren Ausgestaltung als einer der gewaltigsten Erscheinungen der Weltgeschichte.

**Geschichte der Vereinigten Staaten** von Amerika. Von Prof. Dr. Ernst Daenell. (Bd. 147.)

Gibt eine übersichtliche Darstellung der geschichtlichen, kulturgeschichtlichen und wirtschaftlichen Entwicklung der Vereinigten Staaten mit besonderer Berücksichtigung der verschiedenen politischen, ethnographischen, sozialen und wirtschaftlichen Probleme der Gegenwart.

**Die Amerikaner.** Von Nicholas Murray Butler. Deutsche, durch Auszüge aus den Werken von A. Hamilton, A. Lincoln und R. W. Emerson vermehrte Ausgabe besorgt von Prof. Dr. W. Paszkowski. (Bd. 319.)

Entwirft in scharfen Linien ein Gesamtbild der heutigen amerikanischen Kultur und ihres historischen Entwicklungsganges.

**Vom Kriegswesen** im 19. Jahrhundert. Zwanglose Skizzen von Major Otto von Sothen. Mit 9 Übersichtskarten. (Bd. 59.)

In einzelnen Abschnitten wird insbesondere die Napoleonische und Moltkesche Kriegführung an Beispielen (Jena-Königgrätz-Sedan) dargestellt und durch Kartenskizzen erläutert. Damit verbunden sind kurze Schilderungen der preußischen Armee von 1806 und nach den Befreiungskriegen sowie nach der Reorganisation von 1860, endlich des deutschen Heeres von 1870 bis zur Gegenwart.

**Der Krieg** im Zeitalter des Verkehrs und der Technik. Von Alfred Meyer, Hauptmann im Kgl. Sächs. Inf.-Reg. Nr. 133 in Zwickau. Mit 3 Abbildungen im Text und zwei Tafeln. (Bd. 271.)

Stellt die ungeheuren Umwälzungen dar, welche die Entwicklung des modernen Verkehrswesens und der modernen Technik auf das Kriegswesen ausgeübt hat, wie sie bei einem europäischen Krieg der Zukunft in die Erscheinung treten würden.

**Der Seekrieg.** Eine geschichtliche Entwicklung vom Zeitalter der Entdeckungen bis zur Gegenwart. Von Kurt Freiherr von Maltzahn, Vize-Admiral a. D. (Bd. 99.)
Bringt den Seekrieg als Kriegsmittel wie als Mittel der Politik zur Darstellung, indem es zunächst die Entwicklung der Kriegsflotte und der Seekriegsmittel schildert und dann die heutigen Weltwirtschaftsstaaten und den Seekrieg behandelt.

**Die moderne Friedensbewegung.** Von Alfred H. Fried. (Bd. 157.)
Entwickelt das Wesen und die Ziele der Friedensbewegung, gibt eine Darstellung der Schiedsgerichtsbarkeit in ihrer Entwicklung und ihrem gegenwärtigen Umfang sowie des Abrüstungsproblemes und gibt zum Schluß einen eingehenden Überblick über die Geschichte der Friedensbewegung und eine chronologische Darstellung der für sie bedeutsamen Ereignisse.

**Die moderne Frauenbewegung.** Ein geschichtlicher Überblick. Von Dr. Käthe Schirmacher. 2. Auflage. (Bd. 67.)
Unterrichtet eingehend und zuverlässig über die moderne Frauenbewegung aller Länder auf den Gebieten der Bildung, Arbeit, Sittlichkeit, Soziologie und Politik.

### Hierzu siehe ferner:

H. v. Soden, Palästina und seine Geschichte. S. 3. Thomsen, Palästina und seine Kultur in fünf Jahrtausenden. S. 4. Neurath, Antike Wirtschaftsgeschichte. S. 16. Geffcken, Aus der Werdezeit des Christentums. S. 4. Sell, Christentum und Weltgeschichte. S. 4. Weise, Die deutschen Volksstämme und Landschaften. S. 18. Matthaei, Deutsche Baukunst im Mittelalter. S. 9. Bähnisch, Die deutschen Personennamen. S. 7. Böckel, Die deutsche Volkssage. S. 7. Bruinier, Das deutsche Volkslied. S. 7. Paulsen, Das deutsche Bildungswesen in seiner geschichtlichen Entwicklung. S. 1. Knabe, Geschichte des deutschen Schulwesens. S. 1. Knabe, Das deutsche Unterrichtswesen. S. 1. Tews, Großstadtpädagogik. S. 1. Bruchmüller, Der Leipziger Student von 1409—1909. S. 1. Boehmer, Luther im Lichte der neueren Forschung. S. 4. Sodeur, Johann Calvin. S. 4. Boehmer, Die Jesuiten. S. 5. Muckle, Geschichte der sozialistischen Ideen im 19. Jahrhundert. S. 15. Pohle, Die Entwicklung des deutschen Wirtschaftslebens im 19. Jahrhundert. S. 16. Laughlin, Aus dem amerikanischen Wirtschaftsleben. S. 16. Schmidt, Geschichte des Welthandels. S. 16. Fried, Internationales Leben der Gegenwart. S. 17. Wislicenus, Der Kalender. S. 26. Ranck, Geschichte der Gartenkunst. S. 9.

## Rechts- und Staatswissenschaft. Volkswirtschaft.

**Deutsches Fürstentum** und deutsches Verfassungswesen. Von Prof. Dr. Eduard Hubrich. (Bd. 80.)
Zeigt den Weg, auf dem deutsches Fürstentum und deutsche Volksfreiheit zu dem in der Gegenwart geltenden wechselseitigen Ausgleich gelangt sind, unter besonderer Berücksichtigung der Entwicklungsgeschichte der preußischen Verfassung.

**Grundzüge der Verfassung** des Deutschen Reiches. Von Prof. Dr. Edgar Loening. 3. Auflage. (Bd. 34.)
Eine durch geschichtliche Rückblicke und Vergleiche das Verständnis des geltenden Rechtes fördernde Einführung in das Verfassungsrecht des Deutschen Reiches, soweit seine Kenntnis für jeden Deutschen erforderlich ist.

**Moderne Rechtsprobleme.** Von Prof. Dr. Josef Kohler. (Bd. 128.)
Behandelt nach einem einleitenden Abschnitte über Rechtsphilosophie die wichtigsten und interessantesten Probleme der modernen Rechtspflege, insbesondere die des Strafrechts, des Strafprozesses, des Genossenschaftsrechts, des Zivilprozesses und des Völkerrechtes.

**Die Psychologie des Verbrechers.** Von Dr. Paul Pollitz, Strafanstaltsdirektor. Mit 5 Diagrammen. (Bd. 248.)
Gibt eine umfassende Übersicht und psychologische Analyse des Verbrechens als Produkt sozialer und wirtschaftlicher Verhältnisse, defekter geistiger Anlage wie persönlicher, verbrecherischer Tendenz.

## Aus Natur und Geisteswelt.

Jeder Band geheftet M. 1.—, in Leinwand gebunden M. 1.25.

**Strafe und Verbrechen.** Von Dr. Paul Pollitz, Strafanstaltsdirektor. (Bd. 323.)
Gibt an der Hand der Geschichte seiner Entwicklung eine allgemeine Übersicht über das gesamte Gebiet des Strafvollzugs und der Verbrechensbekämpfung, unter besonderer Berücksichtigung der gegenwärtig aktuellen Reformprobleme.

**Verbrechen und Aberglaube.** Skizzen aus der volkskundlichen Kriminalistik. Von Kammergerichtsreferendar Dr. Albert Hellwig. (Bd. 212.)
Bietet eine Reihe interessanter Bilder aus dem Gebiete des kriminellen Aberglaubens, wie z. B. von modernen Hexenprozessen, Dampyrglauben, Sympathiekuren, verborgenen Schätzen, Meineidszeremonien usw.

**Das deutsche Zivilprozeßrecht.** Von Rechtsanwalt Dr. M. Strauß. Ein Leitfaden für Laien, Studierende und Juristen. (Bd. 315.)
Die erste zusammenfassende Orientierung auf Grund der neuen Zivilprozeßreform.

**Ehe und Eherecht.** Von Prof. Dr. Ludwig Wahrmund. (Bd. 115.)
Schildert die historische Entwicklung des Ehebegriffes nach seiner natürlichen, sittlichen und rechtlichen Seite, untersucht das Verhältnis von Staat und Kirche auf dem Gebiete des Eherechtes und behandelt darüber hinaus auch alle jene Fragen über die rechtliche Stellung der Frau und besonders der Mutter, die immer lebhafter die öffentliche Meinung beschäftigen.

**Der gewerbliche Rechtsschutz** in Deutschland. Von Patentanwalt Bernhard Tolksdorf. (Bd. 138.)
Behandelt die geschichtliche Entwicklung des gewerblichen Rechtsschutzes und führt in Sinn und Wesen des Patent-, Muster- und Warenzeichenrechts ein.

**Die Miete** nach dem Bürgerlichen Gesetzbuch. Ein Handbüchlein für Juristen, Mieter und Vermieter. Von Rechtsanwalt Dr. Max Strauß. (Bd. 194.)
Will durch eine objektive, gemeinverständliche Darstellung des Mietrechts die beiden Gruppen Mieter und Vermieter über ihr gegenseitiges Verhältnis aufklären und gleichzeitig durch Berücksichtigung der einschlägigen Literatur und Entscheidungen dem praktischen Juristen als Handbuch dienen.

**Das Wahlrecht.** Von Regierungsrat Dr. Oskar Poensgen. (Bd. 249.)
Bietet eine Würdigung der verschiedenen Wahlrechtssysteme und Bestimmungen sowie eine Übersicht über die heutzutage in den einzelnen Staaten geltenden Wahlrechte.

**Die Jurisprudenz im häuslichen Leben.** Für Familie und Haushalt dargestellt. Von Rechtsanwalt Paul Bienengräber. 2 Bände. (Bd. 219. 220.)
Band I: Die Familie. (Bd. 219.) Band II: Der Haushalt. (Bd. 220.)
Behandelt in anregender, durch zahlreiche, dem täglichen Leben entnommene Beispiele belebter Darstellung alle in der Familie und dem Haushalt vorkommenden Rechtsfragen und Rechtsfälle.

**Finanzwissenschaft.** Von Professor Dr. S. P. Altmann. (Bd. 306.)
Ein Überblick über das Gesamtgebiet der Finanzwissenschaft, der jedem die Möglichkeit einer objektiv-wissenschaftlichen Beurteilung der Reichsfinanzreform bietet.

**Soziale Bewegungen** und Theorien bis zur modernen Arbeiterbewegung. Von Gustav Maier. 4. Auflage. (Bd. 2.)
Schildert die sozialen Bewegungen und Theorien in ihrer geschichtlichen Entwicklung von den altorientalischen und antiken Kulturvölkern an durch das Mittelalter bis zur Entstehung des modernen Sozialismus.

**Geschichte der sozialistischen Ideen** im 19. Jahrhundert. Von Privatdozent Dr. Friedrich Muckle. 2 Bände. (Bd. 269. 270.)
Band I: Der rationale Sozialismus. (Bd. 269.)
Band II: Proudhon und der entwicklungsgeschichtliche Sozialismus. (Bd. 270.)
Gibt eine feine philosophische Grundlagen aufzeigende Darstellung der Entwicklung des sozialen Ideals im 19. Jahrhundert mit liebevoller Charakterisierung der Einzelpersönlichkeiten von Owen, Fourier, Weitling über Proudhon, Saint-Simon, Rodbertus bis zu Karl Marx und Lassalle.

**Geschichte des Welthandels.** Von Oberlehrer Dr. M. G. Schmidt. (Bd. 118.)
Behandelt die Entwicklung des Handels vom Altertum an über das Mittelalter, in dem Konstantinopel, seit den Kreuzzügen Italien und Deutschland den Weltverkehr beherrschen, zur Neuzeit, die mit der Entdeckung Amerikas beginnt, und bis zur Gegenwart, in der auch der deutsche Kaufmann den ganzen Erdball erobert.

**Geschichte d. deutschen Handels.** Von Prof. Dr. W. Langenbeck. (Bd. 237.)
Schildert die Entwicklung von primitivsten prähistorischen Anfängen bis zur heutigen Weltmachtstellung des deutschen Handels mit ihren Bedingungen und gibt ein übersichtliches Bild dieses weitverzweigten Organismus.

**Deutschlands Stellung in der Weltwirtschaft.** Von Prof. Dr. Paul Arndt. (Bd. 179.)
Stellt unsere wirtschaftlichen Beziehungen zum Auslande sowie die Ursachen der gegenwärtigen hervorragenden Stellung Deutschlands in der Weltwirtschaft dar, erörtert die Vorteile und Gefahren dieser Stellung eingehend und behandelt endlich die vielen wirtschaftlichen und politischen Aufgaben, die sich aus Deutschlands internationaler Stellung ergeben.

**Deutsches Wirtschaftsleben.** Auf geographischer Grundlage geschildert von weil. Prof. Dr. Christian Gruber. 2. Auflage. Neubearbeitet von Dr. Hans Reinlein. (Bd. 42.)
Will Verständnis für den sieghaften Aufschwung unseres wirtschaftlichen Lebens seit der Wiederaufrichtung des Reichs herbeiführen und darlegen, inwieweit sich Produktion und Verkehrsbewegung auf die natürlichen Gelegenheiten, die geographischen Vorzüge unseres Vaterlandes stützen können und in ihnen sicher verankert liegen.

**Die Entwicklung des deutschen Wirtschaftslebens** im letzten Jahrhundert. Von Prof. Dr. Ludwig Pohle. 2. Auflage. (Bd. 57.)
Eine objektive, ruhig abwägende Darstellung der gewaltigen Umwälzung, die das deutsche Wirtschaftsleben im Laufe des einen Jahrhunderts erfahren hat.

**Das Hotelwesen.** Von Paul Damm-Etienne. Mit 30 Abbild. (Bd. 331.)
Ein Überblick über Entwicklung und Bedeutung, Organisation und Betrieb, soziale und rechtliche Stellung des Hotelwesens.

**Die deutsche Landwirtschaft.** Von Dr. Walter Claaßen. Mit 15 Abbildungen und 1 Karte. (Bd. 215.)
Behandelt die natürlichen Grundlagen der Bodenbereitung, die Technik und Betriebsorganisation des Bodenbaues und der Viehhaltung, die volkswirtschaftliche Bedeutung des Landbaues sowie die agrarpolitischen Fragen, ferner die Bedeutung des Menschen als Produktionsfaktor in der Landwirtschaft und andererseits die Rolle, die das Landvolk im Lebensprozesse der Nation spielt.

**Innere Kolonisation.** Von A. Brenning. (Bd. 261.)
Gibt in knappen Zügen ein vollständiges Bild von dem Stande der inneren Kolonisation in Deutschland als einer der volkswirtschaftlich, wie sozial und national wichtigsten Aufgaben der Gegenwart.

**Antike Wirtschaftsgeschichte.** Von Dr. O. Neurath. (Bd. 258.)
Gibt auf Grund der modernen Forschungen einen gemeinverständlichen Überblick über die Wirtschaftsgeschichte der Antike unter stetem Vergleich mit modernen Verhältnissen.

**Aus dem amerikanischen Wirtschaftsleben.** Von Prof. J. Laurence Laughlin. Mit 9 graphischen Darstellungen. (Bd. 127.)
Ein Amerikaner behandelt für deutsche Leser die wirtschaftlichen Fragen, die augenblicklich im Vordergrunde des öffentlichen Lebens in Amerika stehen.

**Die Japaner** und ihre wirtschaftliche Entwicklung. Von Prof. Dr. Karl Rathgen. (Bd. 72.)
Schildert auf Grund langjähriger eigener Erfahrungen Land und Leute, Staat und Wirtschaftsleben sowie die Stellung Japans im Weltverkehr und ermöglicht so ein wirkliches Verständnis für die staunenswerte innere Neugestaltung des Landes in den letzten Jahrzehnten.

**Die Gartenstadtbewegung.** Von Generalsekr. Hans Kampffmeyer. Mit 43 Abbildungen. (Bd. 259.)
Orientiert zum ersten Male umfassend über Ursprung und Geschichte, Wege und Ziele, Bedeutung und Erfolge der Gartenstadtbewegung.

**Das internationale Leben** der Gegenwart. Von Alfred H. Fried. Mit einer lithographischen Tafel. (Bd. 226.)
Ein „Baedeker für das internationale Land", der durch eine Zusammenstellung der internationalen Vereinbarungen und Einrichtungen nach ihrem Umfang und ihrer Wirksamkeit zu zeigen sucht, wie weit der internationale Zusammenschluß der Kulturwelt auf nationaler Grundlage bereits gediehen ist.

**Bevölkerungslehre.** Von Prof. Dr. Max Haushofer. (Bd. 50.)
Will in gedrängter Form das Wesentliche der Bevölkerungslehre geben über Ermittlung der Volkszahl, über Gliederung und Bewegung der Bevölkerung, Verhältnis der Bevölkerung zum bewohnten Boden und die Ziele der Bevölkerungspolitik.

**Arbeiterschutz und Arbeiterversicherung.** Von Prof. Dr. Otto v. Zwiedineck-Südenhorst. (Bd. 78.)
Bietet eine gedrängte Darstellung des gemeiniglich unter dem Titel „Arbeiterfrage" behandelten Stoffes unter besonderer Berücksichtigung der Fragen der Notwendigkeit, Zweckmäßigkeit und der ökonomischen Begrenzung der einzelnen Schutzmaßnahmen und Versicherungseinrichtungen.

**Die Konsumgenossenschaft.** Von Prof. Dr. F. Staudinger. (Bd. 222.)
Stellt die Konsumgenossenschaft nach ihrer Bedeutung und ihren Grundlagen, ihrer geschichtlichen Entwicklung und heutigen Organisation und in ihren Kämpfen und Zukunftsaussichten dar.

**Die Frauenarbeit.** Ein Problem des Kapitalismus. Von Privatdozent Dr. Robert Wilbrandt. (Bd. 106.)
Behandelt von dem Verhältnis von Beruf und Mutterschaft aus, als dem zentralen Problem der ganzen Frage, die Ursachen der niedrigen Bezahlung der weiblichen Arbeit, die daraus entstehenden Schwierigkeiten in der Konkurrenz der Frauen mit den Männern, den Gegensatz von Arbeiterinnenschutz und Befreiung der weiblichen Arbeit.

**Grundzüge d. Versicherungswesens.** Von Prof. Dr. A. Manes. (Bd. 105.)
Behandelt die Stellung der Versicherung im Wirtschaftsleben, ihre Entwicklung und Organisation, den Geschäftsgang eines Versicherungsbetriebs, die Versicherungspolitik, das Versicherungsvertragsrecht und die Versicherungswissenschaft, ebenso die einzelnen Zweige der Versicherung, wie Lebensversicherung, Unfallversicherung usw.

**Verkehrsentwicklung** in Deutschland. 1800—1900 (fortgeführt bis zur Gegenwart). Vorträge über Deutschlands Eisenbahnen und Binnenwasserstraßen, ihre Entwicklung und Verwaltung sowie ihre Bedeutung für die heutige Volkswirtschaft. Von Prof. Dr. Walter Lotz. 3. Auflage. (Bd. 15.)
Gibt nach einer kurzen Übersicht über die Hauptfortschritte in den Verkehrsmitteln eine Geschichte des Eisenbahnwesens, schildert den heutigen Stand der Eisenbahnverfassung, das Güter- und das Personentarifwesen, die Reformversuche und die Reformfrage, ferner die Bedeutung der Binnenwasserstraßen und endlich die Wirkungen der modernen Verkehrsmittel.

**Das Postwesen,** seine Entwicklung und Bedeutung. Von Postrat Johannes Bruns. (Bd. 165.)
Eine umfassende Darstellung des gesamten Postwesens unter Berücksichtigung der geschichtlichen Entwicklung sowie der Bedürfnisse der Praxis.

**Die Telegraphie** in ihrer Entwicklung und Bedeutung. Von Postrat Johannes Bruns. Mit 4 Figuren. (Bd. 183.)
Gibt auf der Grundlage eingehender praktischer Kenntnis der einschlägigen Verhältnisse einen Einblick in das für die heutige Kultur so bedeutungsvolle Gebiet der Telegraphie und seine großartigen Fortschritte.

**Die Telegraphen- und Fernsprechtechnik in ihrer Entwicklung.** Von Telegrapheninspektor Helmut Brick. Mit 58 Abbildungen. (Bd. 235.)
Schildert unter klarer Veranschaulichung der zugrundeliegenden Prinzipien den Entwicklungsgang der Telegraphen- und Fernsprechtechnik von Flammenzeichen und Rufposten bis zum modernen Mehrfach- und Maschinentelegraphen und von Philipp Reis' und Graham Bells Erfindung bis zur Einrichtung unserer großen Fernsprechämter.

**Deutsche Schiffahrt** und Schiffahrtspolitik der Gegenwart. Von Prof. Dr. Karl Thieß. (Bd. 169.)
Gibt in übersichtlicher Darstellung der großen für ihre Entwicklung und ihr Gedeihen in Betracht kommenden volkswirtschaftlichen Gesichtspunkte eine Nationalökonomik der deutschen Schiffahrt.

Hierzu siehe ferner:

**Bloch,** Soziale Kämpfe im alten Rom. S. 10. **Gerdes,** Geschichte des deutschen Bauernstandes. S. 11. **Barth,** Unsere Schutzgebiete nach ihren wirtschaftlichen Verhältnissen. S. 18. **Butler,** Die Amerikaner. Deutsch von Dr. Paszkowski. S. 13.

# Erdkunde.

**Mensch und Erde.** Skizzen von den Wechselbeziehungen zwischen beiden. Von weil. Prof. Dr. Alfred Kirchhoff. 3. Auflage. (Bd. 31.)
Zeigt, wie die Ländernatur auf den Menschen und seine Kultur einwirkt, durch Schilderungen allgemeiner und besonderer Art, der Steppen- und Wüstenvölker, der Entstehung von Nationen, wie Deutschland und China u. a. m.

**Die Eiszeit und der vorgeschichtliche Mensch.** Von Professor Dr. G. Steinmann. Mit 24 Abbildungen. (Bd. 302.)
Behandelt auf Grund der neuesten Forschungen die vielumstrittenen Probleme der Eiszeit mit besonderer Berücksichtigung des Auftretens des Menschen und der Anfänge der menschlichen Kultur.

**Die Städte.** Geographisch betrachtet. Von Prof. Dr. Kurt Hassert. Mit 21 Abbildungen. (Bd. 163.)
Erörtert die Ursachen des Entstehens, Wachsens und Vergehens der Städte, sowie ihre wirtschaftsgeographische Bedeutung und schildert das Städtebild als geographische Erscheinung.

**Wirtschaftl. Erdkunde.** Von weil. Prof. Dr. Christian Gruber. (Bd. 122.)
Will die ursprünglichen Zusammenhänge zwischen der natürlichen Ausstattung der einzelnen Länder und der wirtschaftlichen Kraftäußerung ihrer Bewohner klarmachen und Verständnis für die wahre Machtstellung der einzelnen Völker und Staaten erwecken.

**Die deutschen Volksstämme** und Landschaften. Von Prof. Dr. Oskar Weise. 3. Aufl. Mit 29 Abbildungen im Text und auf 15 Tafeln. (Bd. 16.)
Schildert, durch eine gute Auswahl von Städte-, Landschafts- und anderen Bildern unterstützt, die Eigenart der deutschen Gaue und Stämme, die charakteristischen Eigentümlichkeiten der Landschaft, den Einfluß auf das Temperament und die geistige Anlage der Menschen, die Leistungen hervorragender Männer, Sitten und Gebräuche, Sagen und Märchen u. a. m.

**Die deutschen Kolonien.** (Land und Leute.) Von Dr. Adolf Heilborn. 2. Auflage. Mit 26 Abbildungen und 2 Karten. (Bd. 98.)
Gibt eine durch Abbildungen und Karten unterstützte objektive und allseitige Darstellung der geographischen und ethnographischen Grundlagen, wie der wirtschaftlichen Entwicklung unserer deutschen Kolonien.

**Unsere Schutzgebiete** nach ihren wirtschaftlichen Verhältnissen. Im Lichte der Erdkunde dargestellt. Von Dr. Chr. G. Barth. (Bd. 290.)
Unsere kolonisatorischen Errungenschaften materieller und ideeller Art, wie auch die weitere Entwicklungsfähigkeit unserer Schutzgebiete werden geographisch und statistisch begründet.

**Die Alpen.** Von Hermann Reishauer. Mit 26 Abb. u. 2 Karten. (Bd. 276.)
Gibt, durch zahlreiche Abbildungen unterstützt, eine umfassende Schilderung des Reiches der Alpen in landschaftlicher, erdgeschichtlicher, sowie klimatischer, biologischer, wirtschaftlicher und verkehrstechnischer Hinsicht.

**Die Polarforschung.** Geschichte der Entdeckungsreisen zum Nord- und Südpol von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart. Von Prof. Dr. Kurt Hassert. 2. Auflage. Mit 6 Karten. (Bd. 38.)
Faßt in gedrängtem Überblick die Fortschritte und wichtigsten Ergebnisse der Nord- und Südpolarforschung von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart zusammen.

**Der Orient.** Eine Länderkunde. Von Ewald Banse. (Bd. 277. 278. 279.)
Band I. Die Atlasländer. Marokko, Algerien, Tunesien. Mit 15 Abbildungen, 10 Kartenskizzen, 3 Diagrammen und 1 Tafel. (Bd. 277.)
Band II. Der arabische Orient. Mit 29 Abbildungen und 7 Diagrammen. (Bd. 278.)
Band III. Der arische Orient. Mit 34 Abbild., 3 Kartenskizzen und 2 Diagrammen. (Bd. 279.)
Der erste Band gibt, durch zahlreiche Abbildungen unterstützt, eine lebendige Schilderung von Land, Leuten und wirtschaftlichen Verhältnissen in Marokko, Algier und Tunis, der zweite eine solche von Ägypten, Arabien, Syrien und Mesopotamien, der dritte von Kleinasien, Armenien und Iran.

# Anthropologie. Heilwissenschaft u. Gesundheitslehre.

**Der Mensch der Urzeit.** Vier Vorlesungen aus der Entwicklungsgeschichte des Menschengeschlechts. Von Dr. Adolf Heilborn. 2. Auflage. Mit zahlreichen Abbildungen. (Bd. 62.)
Gibt auf Grund der neuesten Funde und an der Hand zahlreicher Abbildungen eine Übersicht über unsere Kenntnis der Entwicklung des Menschengeschlechts von seiner Abzweigung aus der Reihe der tierischen Vorfahren bis zur Schwelle der historischen Zeit.

**Die moderne Heilwissenschaft.** Wesen und Grenzen des ärztlichen Wissens. Von Dr. Edmund Biernacki. Deutsch von Dr. S. Ebel. (Bd. 25.)
Will in den Inhalt des ärztlichen Wissens und Könnens einführen, indem die geschichtliche Entwicklung der medizinischen Grundbegriffe, die Fortschritte der modernen Heilkunst, die Beziehungen zwischen Diagnose und Therapie, sowie die Grenzen der modernen Diagnostik behandelt werden.

**Der Arzt.** Seine Stellung und Aufgaben im Kulturleben der Gegenwart. Ein Leitfaden der sozialen Medizin. Von Dr. med. Moritz Fürst. (Bd. 265.)
Gibt einen vollständigen Überblick über das Wesen des ärztlichen Berufes in seinen verschiedenen Betätigungen und veranschaulicht die heutige soziale Bedeutung unseres Ärztestandes.

**Der Aberglaube in der Medizin** und seine Gefahr für Gesundheit und Leben. Von Prof. Dr. V. von Hansemann. (Bd. 83.)
Behandelt alle menschlichen Verhältnisse, die in irgendeiner Beziehung zu Leben und Gesundheit stehen, besonders mit Rücksicht auf viele schädliche Arten des Aberglaubens, die geeignet sind, Krankheiten zu fördern, die Gesundheit herabzusetzen und auch in moralischer Beziehung zu schädigen.

**Bau und Tätigkeit des menschlichen Körpers.** Von Privatdozent Dr. Heinrich Sachs. 3., verb. Auflage. Mit 37 Abbildungen. (Bd. 32.)
Will den menschlichen Körper in der Organisation des Zusammenwirkens aller seiner Teile unter den Gesetzen des allgemeinen Naturgeschehens begreifen lehren.

**Die Anatomie des Menschen.** Von Prof. Dr. Karl v. Bardeleben. In 5 Bänden. Mit zahlreichen Abbildungen. (Bd. 201. 202. 203. 204. 263.)
I. Teil: Allgemeine Anatomie und Entwicklungsgeschichte. Mit 69 Abbildungen. (Bd. 201.)
II. Teil: Das Skelett. Mit 53 Abbildungen. (Bd. 202.)
III. Teil: Das Muskel- und Gefäßsystem. Mit 68 Abbildungen. (Bd. 203.)
IV. Teil: Die Eingeweide (Darm, Atmungs-, Harn- u. Geschlechtsorgane). Mit 38 Abb. (Bd. 204.)
V. Teil: Statik und Mechanik des menschlichen Körpers. Mit 20 Abbildungen. (Bd. 263.)
In dieser Reihe von 5 Bänden wird die menschliche Anatomie in knappem, für gebildete Laien leicht verständlichem Texte dargestellt, wobei eine große Anzahl sorgfältig ausgewählter Abbildungen die Anschaulichkeit erhöht. Der erste Band enthält u. a. einiges aus der Geschichte der Anatomie von Homer bis zur Neuzeit, ferner die Zellen- und Gewebelehre, die Entwicklungsgeschichte, sowie Formen, Maß und Gewicht des Körpers. Im zweiten Band werden dann Skelett, Knochen und die Gelenke nebst einer Mechanik der letzteren, im dritten die bewegenden Organe des Körpers, die Muskeln, das Herz und die Gefäße, im vierten die Eingeweidelehre, namentlich der Darmtraktus, sowie die Harn- und Geschlechtsorgane, und im

fünften werden die verschiedenen Ruhelagen des Körpers, Liegen, Stehen, Sitzen usw., sodann die verschiedenen Arten der Ortsbewegung, Gehen, Laufen, Tanzen, Schwimmen, Reiten usw., endlich die wichtigsten Bewegungen innerhalb des Körpers, die der Wirbelsäule, des Herzens und des Brustkorbes bei der Atmung zur Darstellung gebracht.

**Moderne Chirurgie.** Von Prof. Dr. Feßler. Mit Abbild. (Bd. 339.)

**Acht Vorträge aus der Gesundheitslehre.** Von weil. Prof. Dr. H. Buchner. 3. Aufl., besorgt von Prof. Dr. M. v. Gruber. Mit 26 Abb. (Bd. 1.)

Unterrichtet über die äußeren Lebensbedingungen des Menschen, über das Verhältnis von Luft, Licht und Wärme zum menschlichen Körper, über Kleidung und Wohnung, Bodenverhältnisse und Wasserversorgung, die Krankheiten erzeugenden Pilze und die Infektionskrankheiten, kurz über die wichtigsten Fragen der Hygiene.

**Herz, Blutgefäße und Blut** und ihre Erkrankungen. Von Prof. Dr. Heinrich Rosin Mit 18 Abbildungen. (Bd. 312.)

Eine allgemeinverständliche Darstellung von Bau und Funktion des Herzens und der Blutgefäße, sowie den verschiedenen Formen ihrer Erkrankungen.

**Das menschliche Gebiß,** seine Erkrankung und Pflege. Von Zahnarzt Fritz Jäger. Mit 24 Abbildungen. (Bd. 229.)

Schildert Entwicklung und Aufbau, sowie die Erkrankungen der Zähne, die Wechselbeziehungen zwischen Zahnzerstörnis und Gesamtorganismus und die zur Schaffung und Erhaltung eines gesunden Gebisses dienlichen Maßnahmen.

**Körperliche Verbildungen im Kindesalter und ihre Verhütung.** Von Dr. Max David. Mit 26 Abbildungen. (Bd. 321.)

Gibt eine eingehende Schilderung der im Kindesalter eintretenden Verbildungen, ihrer Entstehungsursachen, Heilungsmethoden und vor allem der Mittel und Wege, den Kindern gerade und gesunde Gliedmaßen zu erhalten.

**Vom Nervensystem,** seinem Bau und seiner Bedeutung für Leib und Seele in gesundem und krankem Zustande. Von Prof. Dr. Richard Zander. 2. Auflage. Mit 27 Figuren. (Bd. 48.)

Gewährt einen Einblick in das Wesen des Nervensystems und seiner Krankheiten, deren Vermeidung und Beseitigung.

**Die fünf Sinne** des Menschen. Von Prof. Dr. Josef Klemens Kreibig. 2. Auflage. Mit 30 Abbildungen. (Bd. 27.)

Eine Darstellung der einzelnen Sinnesgebiete, der Organe und ihrer Funktionsweise, der als Reiz wirkenden äußeren Ursachen, sowie der Empfindungen nach Inhalt, Stärke und Merkmalen.

**Das Auge** des Menschen und seine Gesundheitspflege. Von Privatdozent Dr. med. Georg Abelsdorff. Mit 15 Abbildungen. (Bd. 149.)

Schildert die Anatomie des menschlichen Auges, sowie die Leistungen des Gesichtssinnes und behandelt die Hygiene des Auges, seine Erkrankungen und Verletzungen, Kurzsichtigkeit, Vererbung usw.

**Die menschliche Stimme** und ihre Hygiene. Von Prof. Dr. Paul H. Gerber. Mit 20 Abbildungen. (Bd. 136.)

Nach den notwendigsten Erörterungen über das Zustandekommen und über die Natur der Töne werden der Kehlkopf des Menschen und seine Funktion als musikalisches Instrument behandelt; dann werden die Gesang- und die Sprechstimme, ihre Ausbildung, ihre Fehler und Erkrankungen, sowie deren Verhütung und Behandlung erörtert.

**Die Geschlechtskrankheiten,** ihr Wesen, ihre Verbreitung, Bekämpfung und Verhütung. Von Generaloberarzt Prof. Dr. Wilhelm Schumburg. Mit 4 Abbildungen und 1 Tafel. (Bd. 251.)

Gibt in sachlicher, aber rückhaltlos offener Darlegung ein Bild von dem Wesen der Geschlechtskrankheiten und von ihren Erregern, erörtert ausführlich ihre Bekämpfung und Verhütung, mit besonderer Rücksicht auf das gefährliche Treiben der Prostitution und der Kurpfuscher, die persönlichen Schutzmaßregeln, sowie die Aussichten auf erfolgreiche Behandlung.

**Die Tuberkulose,** ihr Wesen, ihre Verbreitung, Ursache, Verhütung und Heilung. Von Generaloberarzt Prof. Dr. Wilhelm Schumburg. Mit 1 Tafel und 8 Figuren. (Bd. 47.)

Schildert nach einem Überblick über die Verbreitung der Tuberkulose das Wesen derselben, beschäftigt sich eingehend mit dem Tuberkelbazillus, bespricht die Maßnahmen, durch die man ihn von sich fernhalten kann, und erörtert die Fragen der Heilung der Tuberkulose.

**Die krankheiterregenden Bakterien.** Von Privatdozent Dr. Max Loehlein. Mit 33 Abbildungen. (Bd. 307.)

Gibt eine Darstellung der wichtigsten Errungenschaften der modernen Bakteriologie und eine Übersicht über die häufigen Infektionskrankheiten nach dem Stande der neueren Forschungen.

**Geisteskrankheiten.** Von Anstaltsoberarzt Dr. Georg Ilberg. (Bd. 151.)

Erörtert an eingehend dargestellten Beispielen die wichtigsten Formen geistiger Erkrankung, um so die richtige Beurteilung der Zeichen geistiger Erkrankung und damit eine rechtzeitige verständnisvolle Behandlung derselben zu ermöglichen.

**Krankenpflege.** Von Chefarzt Dr. Bruno Leick. (Bd. 152.)

Erörtert nach einem Überblick über Bau und Funktion der inneren Organe und deren hauptsächlichsten Erkrankungen die hierbei zu ergreifenden Maßnahmen, wobei besonders eingehend die Pflege bei Infektionskrankheiten, sowie bei plötzlichen Unglücksfällen und Erkrankungen behandelt werden.

**Gesundheitslehre für Frauen.** Von weil. Privatdozent Dr. Roland Stieher. Mit 13 Abbildungen. (Bd. 171.)

Unterrichtet über den Bau des weiblichen Organismus und seine Pflege vom Kindesalter an, vor allem aber eingehend über den Beruf der Frau als Gattin und Mutter.

**Der Säugling,** seine Ernährung und seine Pflege. Von Dr. Walter Kaupe. Mit 17 Abbildungen. (Bd. 154.)

Will der jungen Mutter oder Pflegerin in allen in Betracht kommenden Fragen den nötigen Rat erteilen. Außer der allgemeinen geistigen und körperlichen Pflege des Kindchens werden besonders die natürliche und künstliche Ernährung behandelt und für alle diese Fälle zugleich praktische Anleitung gegeben.

**Der Alkoholismus.** Herausgegeben vom Zentralverband zur Bekämpfung des Alkoholismus. In 3 Bänden. [Bd. 103 vergriffen.] (Bd. 103. 104. 145.)

Die drei Bändchen sind ein kleines wissenschaftliches Kompendium der Alkoholfrage, verfaßt von den besten Kennern der mit ihr zusammenhängenden sozial-hygienischen und sozial-ethischen Probleme, und enthalten eine Fülle von Material in übersichtlicher und schöner Darstellung.

**Ernährung und Volksnahrungsmittel.** Von weil. Prof. Dr. Johannes Frentzel. 2. Auflage. Neu bearbeitet von Geh. Rat Prof. Dr. N. Zuntz. Mit 7 Abbildungen und 2 Tafeln. (Bd. 19.)

Gibt einen Überblick über die gesamte Ernährungslehre. Durch Erörterung der grundlegenden Begriffe werden die Zubereitung der Nahrung und der Verdauungsapparat besprochen und endlich die Herstellung der einzelnen Nahrungsmittel, insbesondere auch der Konserven behandelt.

**Die Leibesübungen** und ihre Bedeutung für die Gesundheit. Von Prof. Dr. Richard Zander. 3. Auflage. Mit 19 Abbildungen. (Bd. 13.)

Will darüber aufklären, weshalb und unter welchen Umständen die Leibesübungen segensreich wirken, indem es ihr Wesen, andererseits die in Betracht kommenden Organe bespricht; erörtert besonders die Wechselbeziehungen zwischen körperlicher und geistiger Arbeit, die Leibesübungen der Frauen, die Bedeutung des Sportes und die Gefahren der sportlichen Übertreibungen.

Hierzu siehe ferner:

Burgerstein, Schulhygiene. S. 8. Verworn, Mechanik des Geisteslebens. S. 6. Trömner, Hypnotismus und Suggestion. S. 6. Gaupp, Psychologie des Kindes. S. 1.

# Naturwissenschaften. Mathematik.

**Die Grundbegriffe der modernen Naturlehre.** Von Prof. Dr. Felix Auerbach. 3. Auflage. Mit 79 Figuren. (Bd. 40.)

Gibt eine zusammenhängende, für jeden Gebildeten verständliche Entwicklung der Begriffe, welche den Bau der modernen exakten Naturwissenschaften begründen und beherrschen.

**Die Lehre von der Energie.** Von Dr. Alfred Stein. Mit 13 Figuren. (Bd. 257.)

Vermittelt für jeden verständlich eine Vorstellung von der umfassenden Einheitlichkeit, die durch die Aufstellung des Energiegesetzes in unsere gesamte Naturauffassung gekommen ist.

**Moleküle — Atome — Weltäther.** Von Prof. Dr. Gustav Mie. 2. Auflage. Mit 27 Figuren. (Bd. 58.)

Stellt die physikalische Atomlehre als die kurze, logische Zusammenfassung einer großen Menge physikalischer Tatsachen unter einem Begriffe dar, die ausführlich und nach Möglichkeit als einzelne Experimente geschildert werden.

**Die großen Physiker und ihre Leistungen.** Von Prof. Dr. F. A. Schulze. Mit 7 Abbildungen. (Bd. 324.)

Gibt eine allgemeinverständliche Würdigung des Wirkens und Lebens der Physiker, welche die Wissenschaft zu ihrer heutigen Höhe geführt haben, von Galilei, Huygens, Newton, Faraday, Helmholtz.

**Werdegang der modernen Physik.** Von Dr. Hans Keller. (Bd. 343.)

**Das Licht und die Farben.** Von Prof. Dr. Leo Graetz. 3. Auflage. Mit 117 Abbildungen. (Bd. 17.)

Führt, von den einfachsten optischen Erscheinungen ausgehend, zur tieferen Einsicht in die Natur des Lichtes und der Farben und behandelt, ausgehend von der scheinbar geradlinigen Ausbreitung, Zurückwerfung und Brechung des Lichtes, das Wesen der Farben, die Beugungserscheinungen und die Photographien.

**Sichtbare und unsichtbare Strahlen.** Von Prof. Dr. Richard Börnstein und Prof. Dr. W. Marckwald. 2. Auflage. Mit 85 Abb. (Bd. 64.)

Schildert die verschiedenen Arten der Strahlen, darunter die Kathoden- und Röntgenstrahlen, die Hertzschen Wellen, die Strahlungen der radioaktiven Körper (Uran und Radium) nach ihrer Entstehung und Wirkungsweise, unter Darstellung der charakteristischen Vorgänge der Strahlung.

**Die optischen Instrumente.** Von Dr. Moritz von Rohr. 2. Auflage. Mit 84 Abbildungen. (Bd. 88.)

Gibt eine elementare Darstellung der optischen Instrumente nach den modernen Anschauungen, wobei das Ultramikroskop, die neuen Apparate zur Mikrophotographie mit ultravioletten Licht, die Prismen- und die Zielfernrohre, die Projektionsapparate und stereoskopischen Entfernungsmesser erläutert werden.

**Spektroskopie.** Von Dr. L. Grebe. Mit 62 Abbildungen. (Bd. 284.)

Gibt eine von zahlreichen Abbildungen unterstützte Darstellung der spektroskopischen Forschung und ihrer weittragenden Ergebnisse für Wissenschaft und Technik.

**Das Mikroskop,** seine Optik, Geschichte und Anwendung. Von Dr. W. Scheffer. Mit 66 Abbildungen. (Bd. 35.)

Nach Erläuterung der optischen Konstruktion und Wirkung des Mikroskops und Darstellung der historischen Entwicklung wird eine Beschreibung der modernsten Mikroskoptypen, Hilfsapparate und Instrumente gegeben und gezeigt, wie die mikroskopische Untersuchung die Einsicht in Naturvorgänge vertieft.

**Das Stereoskop** und seine Anwendungen. Von Prof. Theodor Hartwig. Mit 40 Abbildungen und 19 Tafeln. (Bd. 135.)

Behandelt die verschiedenen Erscheinungen und Anwendungen der Stereoskopie, insbesondere die stereoskopischen Himmelsphotographien, die stereoskopische Darstellung mikroskopischer Objekte, das Stereoskop als Meßinstrument und die Bedeutung und Anwendung des Stereokomparators.

**Die Lehre von der Wärme.** Von Prof. Dr. Richard Börnstein. Mit 33 Abbildungen. (Bd. 172.)

Behandelt ausführlich die Tatsachen und Gesetze der Wärmelehre, Ausdehnung erwärmter Körper und Temperaturmessung, Wärmemessung, Wärme- und Kältequellen, Wärme als Energieform, Schmelzen und Erstarren, Sieden, Verdampfen und Verflüssigen, Verhalten des Wasserdampfes in der Atmosphäre, Dampf- und andere Wärmemaschinen und schließlich die Bewegung der Wärme.

**Die Kälte,** ihr Wesen, ihre Erzeugung und Verwertung. Von Dr. Heinrich Alt. Mit 45 Abbildungen. (Bd. 311.)

Ein Überblick über die künstliche Erzeugung tiefster Temperaturen und ihre so wichtige technische Verwendung.

**Luft, Wasser, Licht und Wärme.** Neun Vorträge aus dem Gebiete der Experimental-Chemie. Von Prof. Dr. Reinhart Blochmann. 3. Aufl. Mit 115 Abbildungen. (Bd. 5.)

Führt unter besonderer Berücksichtigung der alltäglichen Erscheinungen des praktischen Lebens in das Verständnis der chemischen Erscheinungen ein und zeigt die außerordentliche Bedeutung derselben für unser Wohlergehen.

**Das Wasser.** Von Privatdoz. Dr. O. Anselmino. Mit 44 Abb. (Bd. 291.)

Gibt eine zusammenfassende Darstellung unseres gesamten Wissens über das Wasser, das Lebenselement der Erde, unter besonderer Berücksichtigung des praktisch Wichtigen.

**Natürliche und künstliche Pflanzen- und Tierstoffe.** Von Dr. B. Bavink. Mit 7 Figuren. (Bd. 187.)

Will einen Einblick in die wichtigsten theoretischen Erkenntnisse der organischen Chemie geben und das Verständnis für ihre darauf begründeten praktischen Entdeckungen und Erfindungen vermitteln.

**Die Erscheinungen des Lebens.** Von Privatdozent Dr. H. Miehe. Mit 40 Figuren. (Bd. 130.)

Sucht eine umfassende Totalansicht des organischen Lebens zu geben, indem es nach einer Erörterung der spekulativen Vorstellungen über das Leben und einer Beschreibung des Protoplasmas und der Zelle die hauptsächlichsten Äußerungen des Lebens, wie Entwicklung, Ernährung, Atmung, das Sinnesleben, die Fortpflanzung, den Tod und die Variabilität behandelt.

**Abstammungslehre und Darwinismus.** Von Prof. Dr. Richard Hesse. 3. Auflage. Mit 37 Figuren. (Bd. 39.)

Gibt einen kurzen, aber klaren Einblick in den gegenwärtigen Stand der Abstammungslehre und sucht die Frage, wie die Umwandlung der organischen Wesen vor sich gegangen ist, nach dem neuesten Stande der Forschung zu beantworten.

**Experimentelle Biologie.** Von Dr. Curt Thesing. Mit Abbild. 2 Bde.

Band I: Experimentelle Zellforschung. (Bd. 336.)
Band II: Regeneration, Selbstverstümmelung und Transplantation. (Bd. 337.)

Der bis jetzt vorliegende Band II behandelt die zu so großer Bedeutung gelangten Erscheinungen der Regeneration und Transplantation bei Tieren und Pflanzen nebst den damit in engem Zusammenhange stehenden Erscheinungen der Selbstverstümmelung und der ungeschlechtlichen Vermehrung. Ausführlich wird u. a. auf die den Regenerationsverlauf bestimmenden Faktoren eingegangen, dabei ergeben sich wichtige Folgerungen für das Vererbungsproblem und die Theorie der natürlichen Zuchtwahl. Die Ergebnisse der modernen Forschung werden dabei in einer Weise geboten, wie sie in so knapper Zusammenfassung bisher nicht bestand.

**Der Befruchtungsvorgang,** sein Wesen und seine Bedeutung. Von Dr. Ernst Teichmann. Mit 7 Abbildungen und 4 Doppeltafeln. (Bd. 70.)
Eine gemeinverständliche, streng sachliche Darstellung der bedeutsamen Ergebnisse der modernen Forschung über das Befruchtungsproblem.

**Das Werden und Vergehen der Pflanzen.** Von Prof. Dr. Paul Gisevius. Mit 24 Abbildungen. (Bd. 173.)
Eine leichtfaßliche Darstellung alles dessen, was uns allgemein an der Pflanze interessiert, eine kleine „Botanik des praktischen Lebens".

**Vermehrung und Sexualität bei den Pflanzen.** Von Prof. Dr. Ernst Küster. Mit 38 Abbildungen. (Bd. 112.)
Gibt eine kurze Übersicht über die wichtigsten Formen der vegetativen Vermehrung und beschäftigt sich eingehend mit der Sexualität der Pflanzen, deren überraschend vielfache und mannigfaltige Äußerungen, ihre große Verbreitung im Pflanzenreich und ihre in allen Einzelheiten erkennbare Übereinstimmung mit der Sexualität der Tiere zur Darstellung gelangen.

**Unsere wichtigsten Kulturpflanzen (die Getreidegräser).** Von Prof. Dr. Karl Giesenhagen. 2. Aufl. Mit 38 Figuren. (Bd. 10.)
Behandelt die Getreidepflanzen und ihren Anbau nach botanischen wie kulturgeschichtlichen Gesichtspunkten, damit zugleich in anschaulichster Form allgemeine botanische Kenntnisse vermittelnd.

**Die fleischfressenden Pflanzen.** Von Dr. Ad. Wagner. Mit Abbildungen. (Bd. 344.)

**Der deutsche Wald.** Von Prof. Dr. Hans Hausrath. Mit 15 Abbildungen und 2 Karten. (Bd. 153.)
Schildert unter Berücksichtigung der geschichtlichen Entwicklung die Lebensbedingungen und den Zustand unseres deutschen Waldes, die Verwendung seiner Erzeugnisse sowie seine günstige Einwirkung auf Klima, Fruchtbarkeit, Sicherheit und Gesundheit des Landes, und erörtert zum Schlusse die Pflege des Waldes. Ein Büchlein also für jeden Waldfreund.

**Die Pilze.** Von Dr. A. Eichinger. Mit Abbildungen. (Bd. 334.)
Versucht, das Wesen der Pilze im allgemeinen zu charakterisieren. Ihre morphologischen und physiologischen Verhältnisse sind so interessant, ihre Wichtigkeit im Haushalt des Menschen und der Natur so groß, daß sie es mehr, als bisher geschehen, verdienen, von einem größeren Publikum beachtet zu werden.

**Weinbau und Weinbereitung.** Von Dr. F. Schmitthenner. (Bd. 332.)
Gibt nach dem neuesten Stande der Wissenschaft und Praxis einen Überblick über das Gesamtgebiet des Weinbaus und der Weinbereitung in historischer, biologischer, landwirtschaftlicher, chemischer und sozialer Hinsicht.

**Der Obstbau.** Von Dr. Ernst Voges. Mit 13 Abbildungen. (Bd. 107.)
Will über die wissenschaftlichen und technischen Grundlagen des Obstbaues sowie seine Naturgeschichte und große volkswirtschaftliche Bedeutung unterrichten. Die Geschichte des Obstbaues, das Leben des Obstbaumes, Obstbaumpflege und Obstbaumschutz, die wissenschaftliche Obstkunde, die Ästhetik des Obstbaues gelangen zur Behandlung.

**Kolonialbotanik.** Von Privatdoz. Dr. F. Tobler. Mit 21 Abb. (Bd. 184.)
Schildert, die allgemeinen Grundlagen und Methoden tropischer Landwirtschaft und behandelt im besonderen die bekanntesten Kolonialprodukte, wie Kaffee, Zucker, Reis, Baumwolle usw.

**Kaffee, Tee, Kakao und die übrigen narkotischen Getränke.** Von Prof. Dr. Arwed Wieler. Mit 24 Abbildungen und 1 Karte. (Bd. 132.)
Behandelt Kaffee, Tee und Kakao, sowie Mate und Kola in bezug auf die Art und Verbreitung der Stammpflanzen, ihre Kultur und Ernte bis zur Gewinnung der fertigen Ware.

**Die Pflanzenwelt des Mikroskops.** Von Bürgerschullehrer Ernst Reukauf. Mit 100 Abbildungen. (Bd. 181.)
Eröffnet einen Einblick in den staunenswerten Formenreichtum des mikroskopischen Pflanzenlebens und lehrt den Ursachen ihrer wunderbaren Lebenserscheinungen nachforschen.

**Die Tierwelt des Mikroskops** (die Urtiere). Von Privatdozent Dr. Richard Goldschmidt. Mit 39 Abbildungen. (Bd. 160.)
Eröffnet dem Naturfreunde ein Bild reichen Lebens im Wassertropfen und sucht ihn zugleich zu eigener Beobachtung anzuleiten.

**Die Beziehungen der Tiere zueinander und zur Pflanzenwelt.** Von Prof. Dr. K. Kraepelin. (Bd. 79.)
Stellt in großen Zügen eine Fülle wechselseitiger Beziehungen der Organismen zueinander dar. Familienleben und Staatenbildung der Tiere, wie die interessanten Beziehungen der Tiere und Pflanzen zueinander werden geschildert.

**Der Kampf zwischen Mensch und Tier.** Von Prof. Dr. Karl Eckstein. 2. Auflage. Mit 51 Figuren. (Bd. 18.)
Der hohe wirtschaftliche Bedeutung beanspruchende Kampf zwischen Mensch und Tier erfährt eine eingehende Darstellung, wobei besonders die Kampfmittel beider Gegner, hier Schußwaffen, Fallen, Gifte oder auch besondere Wirtschaftsmethoden, dort spitzige Kralle, scharfer Zahn, furchtbares Gift, List und Gewandtheit geschildert werden.

**Tierkunde.** Eine Einführung in die Zoologie. Von Privatdoz. Dr. Kurt Hennings. Mit 34 Abbildungen. (Bd. 142.)
Stellt die charakteristischen Eigenschaften aller Tiere — Bewegung und Empfindung, Stoffwechsel und Fortpflanzung — dar und sucht die Tätigkeit des Tierleibes aus seinem Bau verständlich zu machen.

**Vergleichende Anatomie der Sinnesorgane der Wirbeltiere.** Von Prof. Dr. Wilhelm Lubosch. Mit 107 Abbildungen. (Bd. 282.)
Gibt eine auf dem Entwicklungsgedanken aufgebaute allgemeinverständliche Darstellung eines der interessantesten Gebiete der modernen Naturforschung.

**Die Stammesgeschichte unserer Haustiere.** Von Prof. Dr. Carl Keller. Mit 28 Abbildungen. (Bd. 252.)
Schildert eingehend den Verlauf der Haustierwerdung, die allmählich eingetretene Umbildung der Rassen sowie insbesondere die Stammformen und Bildungsherde der einzelnen Haustiere.

**Die Fortpflanzung der Tiere.** Von Privatdozent Dr. Richard Goldschmidt. Mit 77 Abbildungen. (Bd. 253.)
Gewährt durch anschauliche Schilderung der zu den wechselvollsten und überraschendsten biologischen Tatsachen gehörenden Formen der tierischen Fortpflanzung sowie der Brutpflege Einblick in das mit der menschlichen Sittlichkeit in so engem Zusammenhang stehende Tatsachengebiet.

**Deutsches Vogelleben.** Von Prof. Dr. Alwin Voigt. (Bd. 221.)
Will durch Schilderung des deutschen Vogellebens in der Verschiedenartigkeit der Daseinsbedingungen in den wechselnden Landschaften die Kenntnis der charakteristischen Vogelarten und namentlich auch ihrer Stimmen fördern.

**Vogelzug und Vogelschutz.** Von Dr. Wilhelm R. Eckardt. Mit 6 Abbildungen. (Bd. 218.)
Eine wissenschaftliche Erklärung der rätselhaften Tatsachen des Vogelzugs und der daraus entspringenden praktischen Forderungen des Vogelschutzes.

**Korallen** und andere gesteinsbildende Tiere. Von Prof. Dr. W. May. Mit 45 Abbildungen. (Bd. 231.)
Schildert die gesteinsbildenden Tiere, vor allem die für den Bau der Erdrinde so wichtigen Korallen nach Bau, Lebensweise und Vorkommen.

**Lebensbedingungen und Verbreitung der Tiere.** Von Prof. Dr. Otto Maas. Mit 11 Karten und Abbildungen. (Bd. 139.)
Zeigt die Tierwelt als Teil des organischen Erdganzen, die Abhängigkeit der Verbreitung des Tieres von dessen Lebensbedingungen wie von der Erdgeschichte, ferner von Nahrung, Temperatur, Licht, Luft und Vegetation, wie von dem Eingreifen des Menschen, und betrachtet an der Hand von Karten die geographische Einteilung der Tierwelt.

**Die Bakterien.** Von Prof. Dr. Ernst Gutzeit. Mit 13 Abbild. (Bd. 233.)
Setzt, gegenüber der laienhaften Identifikation von Bakterien und Krankheiten, die allgemeine Bedeutung der Kleinlebewelt für den Kreislauf des Stoffes in der Natur und dem Haushalt des Menschen auseinander.

**Die Welt der Organismen.** In Entwicklung und Zusammenhang dargestellt. Von Prof. Dr. Kurt Lampert. Mit 52 Abbildungen. (Bd. 236.)
Gibt einen allgemeinverständlichen Überblick über die Gesamtheit des Tier- und Pflanzenreiches, über den Aufbau der Organismen, ihre Lebensgeschichte, ihre Abhängigkeit von der äußeren Umgebung und die Wechselbeziehungen zwischen den einzelnen Gliedern der belebten Natur.

**Zwiegestalt der Geschlechter** in der Tierwelt (Dimorphismus). Von Dr. Friedrich Knauer. Mit 37 Abbildungen. (Bd. 148.)
Die merkwürdigen, oft erstaunlichen Verschiedenheiten in Aussehen und Bau der Tiergeschlechter werden durch zahlreiche Beispiele aus allen Gruppen auf wissenschaftlicher Grundlage dargestellt.

**Die Ameisen.** Von Dr. Friedrich Knauer. Mit 61 Figuren. (Bd. 94.)
Faßt die Ergebnisse der Forschungen über das Tun und Treiben einheimischer und exotischer Ameisen, über die Vielgestaltigkeit der Formen im Ameisenstaate, über die Bautätigkeit, Brutpflege und die ganze Ökonomie der Ameisen, über ihr Zusammenleben mit anderen Tieren und mit Pflanzen, und über die Sinnestätigkeit der Ameisen zusammen.

**Das Süßwasser-Plankton.** Von Dr. Otto Zacharias. Mit 49 Abbildungen. (Bd. 156.)
Gibt eine Anleitung zur Kenntnis jener mikroskopisch kleinen und für die Existenz der höheren Lebewesen und für die Naturgeschichte der Gewässer so wichtigen Tiere und Pflanzen. Die wichtigsten Formen werden vorgeführt und die merkwürdigen Lebensverhältnisse und -bedingungen dieser unsichtbaren Welt einfach und doch vielseitig erörtert.

**Meeresforschung und Meeresleben.** Von Dr. Otto Janson. 2. Aufl. Mit 41 Figuren. (Bd. 30.)
Schildert kurz und lebendig die Fortschritte der modernen Meeresuntersuchung auf geographischem, physikalisch-chemischem und biologischem Gebiete, die Verteilung von Wasser und Land auf der Erde, die Tiefen des Meeres, die physikalischen und chemischen Verhältnisse des Meerwassers, endlich die wichtigsten Organismen des Meeres, die Pflanzen und Tiere.

**Das Aquarium.** Von Ernst Willy Schmidt. Mit Abbild. (Bd. 335.)
Gibt in zusammenhängender Darstellung die Wechselbeziehungen zwischen Tier, Pflanze und Umgebung: eine Aquarienbiologie.

**Wind und Wetter.** Von Prof. Dr. Leonhard Weber. 2. Auflage. Mit 28 Figuren und 3 Tafeln. (Bd. 55.)
Schildert die historischen Wurzeln der Meteorologie, ihre physikalischen Grundlagen und ihre Bedeutung im gesamten Gebiete des Wissens, erörtert die hauptsächlichsten Aufgaben, die dem ausübenden Meteorologen obliegen, wie die praktische Anwendung in der Wettervorhersage.

**Der Kalender.** Von Prof. Dr. W. F. Wislicenus. (Bd. 69.)
Erklärt die für unsere Zeitrechnung bedeutsamen astronomischen Erscheinungen und schildert die historische Entwicklung des Kalenderwesens vom römischen Kalender ausgehend, den Werdegang der christlichen Kalender bis auf die neueste Zeit verfolgend, setzt ihre Einrichtungen auseinander und lehrt die Berechnung kalendarischer Angaben.

**Der Bau des Weltalls.** Von Prof. Dr. J. Scheiner. 3. Auflage. Mit 26 Figuren. (Bd. 24.)
Gibt eine anschauliche Darstellung vom Bau des Weltalls wie der einzelnen Weltkörper und der Mittel zu ihrer Erforschung.

**Entstehung der Welt und der Erde,** nach Sage und Wissenschaft. Von Prof. D. M. B. Weinstein. (Bd. 223.)
Zeigt, wie die Frage der Entstehung der Welt und der Erde in den Sagen aller Völker und Zeiten und in den Theorien der Wissenschaft beantwortet worden ist.

**Aus der Vorzeit der Erde.** Von Prof. Dr. Fritz Frech. In 6 Bänden. 2. Auflage. Mit zahlreichen Abbildungen. (Bd. 207—211, 61.)

In 6 Bänden wird eine vollständige Darstellung der Fragen der allgemeinen Geologie und physischen Erdkunde gegeben, wobei Übersichtstabellen die Fachausdrücke und die Reihenfolge der geologischen Perioden erläutern und auf neue, vorwiegend nach Original-Photographien angefertigte Abbildungen und auf anschauliche, lebendige Schilderung besonders Wert gelegt ist.

Band I: Vulkane einst und jetzt. Mit 80 Abbildungen. (Bd. 207.)
Gibt eine Darstellung des Wesens der vulkanischen Erscheinungen unter besonderer Berücksichtigung der letzten Katastrophen und der Folgeerscheinungen des Vulkanismus.

Band II: Gebirgsbau und Erdbeben. Mit 57 Abbildungen. (Bd. 208.)
Gibt eine ausführliche Darstellung der Entstehung der Gebirge wie der Ursachen und Erscheinungsformen der Erdbeben unter besonderer Berücksichtigung der bei den letzten Katastrophen gemachten Erfahrungen.

Band III: Die Arbeit des fließenden Wassers. Mit 51 Abbildungen. (Bd. 209.)
Behandelt als eines der interessantesten Gebiete der Geologie die Arbeit fließenden Wassers, Talbildung u. Karstphänomen, Höhlenbildung u. Schlammvulkane, Wildbäche, Quellen u. Grundwasser.

Band IV: Die Arbeit des Ozeans und die chemische Tätigkeit des Wassers im allgemeinen. Mit 1 Titelbild und 51 Textabbildungen. (Bd. 210.)
Behandelt die grundlegenden erdgeschichtlichen Vorgänge der Bodenbildung und Abtragung, der Küstenbrandung und maritimen Gesteinsbildung und schließlich die Geographie der großen Ozeane in Vergangenheit und Zukunft.

Band V: Kohlenbildung und Klima der Vorzeit. (Bd. 211.)
Band VI: Gletscher und Hochgebirge. (Bd. 61.)

**Das astronomische Weltbild** im Wandel der Zeit. Von Prof. Dr. Samuel Oppenheim. Mit 24 Abbildungen. (Bd. 110.)

Schildert den Kampf des geozentrischen und heliozentrischen Weltbildes, wie er schon im Altertum bei den Griechen entstanden ist, anderthalb Jahrtausende später zu Beginn der Neuzeit durch Kopernikus von neuem aufgenommen wurde und da erst mit einem Siege des heliozentrischen Systems schloß.

**Der Mond.** Von Prof. Dr. Julius Franz. Mit 31 Abbild. (Bd. 90.)

Gibt die Ergebnisse der neueren Mondforschung wieder, erörtert die Mondbewegung und Mondbahn, bespricht den Einfluß des Mondes auf die Erde und behandelt die Fragen der Oberflächenbedingungen des Mondes und die charakteristischen Mondgebilde, anschaulich zusammengefaßt in „Beobachtungen eines Mondbewohners", endlich die Bewohnbarkeit des Mondes.

**Die Planeten.** Von Prof. Dr. Bruno Peter. Mit 18 Figuren. (Bd. 240.)

Bietet unter steter Berücksichtigung der geschichtlichen Entwicklung unserer Erkenntnis eine eingehende Darstellung der einzelnen Körper unseres Planetensystems und ihres Wesens.

**Arithmetik und Algebra** zum Selbstunterricht. Von Prof. Dr. Paul Crantz. In 2 Bänden. Mit Figuren. (Bd. 120. 205.)

I. Teil: Die Rechnungsarten. Gleichungen ersten Grades mit einer und mehreren Unbekannten. Gleichungen zweiten Grades. 2. Auflage. Mit 9 Figuren. (Bd. 120.)
II. Teil: Gleichungen. Arithmetische und geometrische Reihen. Zinseszins- und Rentenrechnung. Komplexe Zahlen. Binomischer Lehrsatz. Mit 21 Figuren. (Bd. 205.)

Band I unterrichtet in leicht faßlicher, für das Selbststudium geeigneter eingehender Darstellung unter Beifügung ausführlich berechneter Beispiele über die sieben Rechnungsarten, die Gleichungen ersten Grades mit einer und mehreren Unbekannten und die Gleichungen zweiten Grades mit einer Unbekannten, Band II ebenso über Gleichungen höheren Grades, arithmetische und geometrische Reihen, Zinseszins- und Rentenrechnung, komplexe Zahlen und über den binomischen Lehrsatz.

**Praktische Mathematik.** Von Dr. R. Neuendorff. Mit Abb. (Bd. 341.)

In allgemeinverständlicher Weise werden Rechenmethoden und mathematische Apparate, die im praktischen Leben mit Vorteil Verwendung finden, erläutert und zu ihrer Verwendung Anregung gegeben.

**Planimetrie zum Selbstunterricht.** Von Prof. Dr. Paul Crantz. Mit Abbildungen. (Bd. 340.)

Das Buch enthält die Planimetrie bis zur Ähnlichkeitslehre und der Berechnung des Kreises. In möglichst einfacher und verständlicher Art macht es mit den Grundlehren der Planimetrie

vertraut. Rein geometrische Aufgaben sind in größerer Zahl vorhanden, deren Lösung teils ausführlich besprochen, teils kurz angedeutet worden ist. Ein ausführlicheres Register ist dem Buche zur leichteren Orientierung beigegeben.

**Einführung in die Infinitesimalrechnung** mit einer historischen Übersicht. Von Prof. Dr. Gerhard Kowalewski. Mit 18 Fig. (Bd. 197.)
Will, ohne große Kenntnis vorauszusetzen, in die moderne Behandlungsweise der Infinitesimalrechnung einführen, die die Grundlage der gesamten mathematischen Naturwissenschaft bildet.

**Mathematische Spiele.** Von Dr. Wilhelm Ahrens. 2. Auflage. Mit 70 Figuren. (Bd. 170.)
Eine amüsante Anregung zum Nachdenken und Kopfzerbrechen, ohne alle mathematischen Vorkenntnisse verständlich.

**Das Schachspiel** und seine strategischen Prinzipien. Von Dr. Max Lange. Mit den Bildnissen E. Laskers und P. Morphys, 1 Schachbrettafel und 43 Darstellungen von Übungsspielen. (Bd. 281.)
Sucht durch eingehende, leichtverständliche Einführung in die Spielgesetze sowie durch eine größere, mit Erläuterungen versehene Auswahl interessanter Schachgänge berühmter Meister diesem anregendsten und geistreichsten aller Spiele neue Freunde und Anhänger zu werben.

Hierzu siehe ferner:

Pfannkuche, Religion und Naturwissenschaft in Kampf und Frieden. S. 5.

## Angewandte Naturwissenschaft. Technik.

**Am sausenden Webstuhl der Zeit.** Von Prof. Dr. Wilhelm Launhardt. 3. Auflage. Mit 16 Abbildungen. (Bd. 23.)
Ein großzügiger Überblick über die Entwicklung der Naturwissenschaften und Technik von den ersten Anfängen bis zu den höchsten Leistungen unserer Zeit.

**Bilder aus der Ingenieurtechnik.** Von Baurat Kurt Merckel. Mit 43 Abbildungen. (Bd. 60.)
Zeigt in einer Schilderung der Ingenieurbauten der Babylonier und Assyrer, der Ingenieurtechnik der alten Ägypter unter vergleichsweiser Behandlung der modernen Irrigationsanlagen daselbst, der Schöpfungen der antiken griechischen Ingenieure, des Städtebaues im Altertum und der römischen Wasserleitungsbauten die hohen Leistungen der Völker des Altertums.

**Schöpfungen der Ingenieurtechnik** der Neuzeit. Von Baurat Kurt Merckel. 2. Auflage. Mit 55 Abbildungen. (Bd. 28.)
Führt eine Reihe interessanter Ingenieurbauten, die Gebirgsbahnen und die Gebirgsstraßen der Schweiz und Tirols, die großen Eisenbahnverbindungen in Asien, endlich die modernen Kanal- und Hafenbauten nach ihrer technischen und wirtschaftlichen Bedeutung vor.

**Der Eisenbetonbau.** Von Dipl.-Ing. E. Haimovici. Mit 81 Abb. (Bd. 275.)
Gibt eine fachmännische und dabei doch allgemein verständliche Darstellung dieses neuesten, in seiner Bedeutung für Hoch- und Tiefbau, Brücken- und Wasserbau stetig wachsenden Zweiges der Technik.

**Das Eisenhüttenwesen.** Von Geh. Bergrat Prof. Dr. Hermann Wedding. 3. Auflage. Mit 15 Figuren. (Bd. 20.)
Schildert, wie Eisen erzeugt und in seine Gebrauchsformen gebracht wird, wobei besonders der Hochofenprozeß nach seinen chemischen, physikalischen und geologischen Grundlagen dargestellt und die Erzeugung der verschiedenen Eisenarten und die dabei in Betracht kommenden Prozesse erörtert werden.

**Die Metalle.** Von Prof. Dr. Karl Scheid. 2. Auflage. Mit 16 Abb. (Bd. 29.)
Behandelt die für Kulturleben und Industrie wichtigen Metalle, die mutmaßliche Bildung der Erze, die Gewinnung der Metalle aus den Erzen, das Hüttenwesen mit seinen verschiedenen Systemen, die Fundorte der Metalle, ihre Eigenschaften, Verwendung und Verbreitung.

**Mechanik.** Von Kais. Geh. Reg.-Rat A. von Ihering. 3 Bde. (Bd. 303/305.)
Durch Anwendung der graphischen Methode und Einfügung instruktiver Beispiele eine ausgezeichnete Darstellung der Grundlehren der Mechanik der festen Körper.
Band I: Die Mechanik der festen Körper. Mit 61 Abbildungen. (Bd. 303.)
Band II: Die Mechanik der flüssigen Körper. (In Vorbereitung.) (Bd. 304.)
Band III: Die Mechanik der gasförmigen Körper. (In Vorbereitung.) (Bd. 305.)

**Maschinenelemente.** Von Prof. Richard Vater. Mit 184 Abb. (Bd. 301.)
Eine Übersicht über die Fülle der einzelnen ineinandergreifenden Teile, aus denen die Maschinen zusammengesetzt sind, und ihre Wirkungsweise.

**Hebezeuge.** Das Heben fester, flüssiger und luftförmiger Körper. Von Prof. Richard Vater. Mit 67 Abbildungen. (Bd. 196.)
Eine für weitere Kreise bestimmte, durch zahlreiche einfache Skizzen unterstützte Abhandlung über die Hebezeuge, wobei das Heben fester, flüssiger und luftförmiger Körper nach dem neuesten Stande der Forschungen eingehend behandelt wird.

**Dampf und Dampfmaschine.** Von Prof. Richard Vater. 2. Auflage. Mit 45 Abbildungen. (Bd. 63.)
Schildert die inneren Vorgänge im Dampfkessel und namentlich im Zylinder der Dampfmaschine, um so ein richtiges Verständnis des Wesens der Dampfmaschine und der in der Dampfmaschine sich abspielenden Vorgänge zu ermöglichen.

**Einführung in die Theorie und den Bau der neueren Wärmekraftmaschinen** (Gasmaschinen). Von Prof. Richard Vater. 3. Auflage. Mit 33 Abbildungen. (Bd. 21.)
Gibt eine die neuesten Fortschritte berücksichtigende Darstellung des Wesens, Betriebes und der Bauart der immer wichtiger werdenden Benzin-, Petroleum- und Spiritusmaschinen.

**Neuere Fortschritte auf dem Gebiete der Wärmekraftmaschinen.** Von Prof. Richard Vater. 2. Auflage. Mit 48 Abbildungen. (Bd. 86.)
Will ein Urteil über die Konkurrenz der modernen Wärmekraftmaschinen nach ihren Vor- und Nachteilen ermöglichen und weiter in Bau und Wirkungsweise der Dampfturbine einführen.

**Die Wasserkraftmaschinen** und die Ausnützung der Wasserkräfte. Von Kais. Geh. Reg.-Rat Albrecht v. Ihering. Mit 73 Figuren. (Bd. 228.)
Führt von dem primitiven Mühlrad bis zu den großartigen Anlagen, mit denen die moderne Technik die Kraft des Wassers zu den gewaltigsten Leistungen auszunutzen versteht.

**Landwirtsch. Maschinenkunde.** Von Prof. Dr. Gust. Fischer. (Bd. 316.)
Ein Überblick über die verschiedenen Arten der landwirtschaftlichen Maschinen und ihre modernsten Vervollkommnungen.

**Die Spinnerei.** Von Direktor Prof. M. Lehmann. Mit Abb. (Bd. 338.)

**Die Eisenbahnen,** ihre Entstehung und gegenwärtige Verbreitung. Von Prof. Dr. Friedrich Hahn. Mit zahlreichen Abbildungen. (Bd. 71.)
Nach einem Rückblick auf die frühesten Zeiten des Eisenbahnbaues führt der Verfasser die moderne Eisenbahn im allgemeinen nach ihren Hauptmerkmalen vor. Der Bau des Bahnkörpers, der Tunnel, die großen Brückenbauten sowie der Betrieb selbst werden besprochen, schließlich ein Überblick über die geographische Verbreitung der Eisenbahnen gegeben.

**Die technische Entwicklung der Eisenbahnen** der Gegenwart. Von Eisenbahnbau- u. Betriebsinsp. Ernst Biedermann. Mit 50 Abb. (Bd. 144.)
Behandelt die wichtigsten Gebiete der modernen Eisenbahntechnik, Oberbau, Entwicklung und Umfang der Spurbahnnetze in den verschiedenen Ländern, die Geschichte des Lokomotivenwesens bis zur Ausbildung der Heißdampflokomotiven einerseits und des elektrischen Betriebes andererseits sowie der Sicherung des Betriebes durch Stellwerks- und Blockanlagen.

**Die Klein- und Straßenbahnen.** Von Oberingenieur a. D. A. Liebmann. Mit 85 Abbildungen. (Bd. 322.)
Will weiteren Kreisen einen Einblick in Wesen und Eigenart und soziale Wichtigkeit der Klein- und Straßenbahnen vermitteln.

**Das Automobil.** Eine Einführung in Bau und Betrieb des modernen Kraftwagens. Von Ing. Karl Blau. Mit 83 Abbild. (Bd. 166.)
Gibt einen anschaulichen Überblick über das Gesamtgebiet des modernen Automobilismus, wobei besonders das Benzinautomobil, das Elektromobil und das Dampfautomobil nach ihren Kraftquellen und sonstigen technischen Einrichtungen wie Zündung, Kühlung, Bremsen, Steuerung, Bereifung usw. besprochen werden.

**Grundlagen der Elektrotechnik.** Von Dr. Rudolf Blochmann. Mit 128 Abbildungen. (Bd. 168.)
Eine durch lehrreiche Abbildungen unterstützte Darstellung der elektrischen Erscheinungen, ihrer Grundgesetze und ihrer Beziehungen zum Magnetismus sowie eine Einführung in das Verständnis der zahlreichen praktischen Anwendungen der Elektrizität.

**Die Telegraphen- und Fernsprechtechnik in ihrer Entwicklung.** Von Telegrapheninspektor Helmut Brick. Mit 58 Abbildungen. (Bd. 235.)
Eine erschöpfende Darstellung der geschichtlichen Entwicklung, der rechtlichen und technischen Grundlagen sowie der Organisation und der verschiedenen Betriebsformen des Telegraphie- und Fernsprechwesens der Erde.

**Drähte und Kabel,** ihre Anfertigung und Anwendung in der Elektrotechnik. Von Telegrapheninspektor Helmuth Brick. Mit 43 Abb. (Bd. 285.)
Gibt, ohne auf technische Einzelheiten einzugehen, durch Illustrationen unterstützt, nach einer elementaren Darstellung der Theorie der Leitung, einen allgemein verständlichen Überblick über die Herstellung, Beschaffenheit und Wirkungsweise aller zur Übermittlung von elektrischem Strom dienenden Leitungen.

**Die Funkentelegraphie.** Von Oberpostpraktikant H. Thurn. Mit 53 Illustrationen. (Bd. 167.)
Nach eingehender Darstellung des Systems Telefunken werden die für die verschiedenen Anwendungsgebiete erforderlichen Konstruktionstypen vorgeführt, wobei nach dem neuesten Stand von Wissenschaft und Technik in jüngster Zeit ausgeführte Anlagen beschrieben werden. Danach wird der Einfluß der Funkentelegraphie auf Wirtschaftsverkehr und Wirtschaftsleben sowie die Regelung der Funkentelegraphie im deutschen und internationalen Verkehr erörtert.

**Nautik.** Von Direktor Dr. Johannes Möller. Mit 58 Fig. (Bd. 255.)
Gibt eine allgemeinverständliche Übersicht über das gesamte Gebiet der Steuermannskunst, die Mittel und Methoden, mit deren Hilfe der Seemann sein Schiff sicher über See bringt.

**Die Luftschiffahrt,** ihre wissenschaftlichen Grundlagen und ihre technische Entwicklung. Von Dr. Raimund Nimführ. 2. Aufl. Mit 42 Abb. (Bd. 300.)
Bietet eine umfassende Darstellung der wissenschaftlichen Grundlagen und technischen Entwicklung der Luftschiffahrt, indem es vor allem das Problem des Vogelfluges und das aerostatische und aerodynamische Prinzip des künstlichen Fluges behandelt und eine ausführliche, durch zahlreiche Abbildungen unterstützte Beschreibung der verschiedenen Konstruktionen von Luftschiffen, von der Montgolfiere bis zum Motorballon und zum modernen Aeroplan gibt.

**Die Beleuchtungsarten** der Gegenwart. Von Dr. phil. Wilhelm Brüsch. Mit 155 Abbildungen. (Bd. 108.)
Behandelt die technischen und wissenschaftlichen Bedingungen für die Herstellung einer wirtschaftlichen Lichtquelle und die Methoden für die Beurteilung ihres wirklichen Wertes für den Verbraucher, die einzelnen Beleuchtungsarten sowohl hinsichtlich ihrer physikalischen und chemischen Grundlagen als auch ihrer Technik und Herstellung.

**Heizung und Lüftung.** Von Ingenieur Johann Eugen Mayer. Mit 40 Abbildungen. (Bd. 241.)
Will über die verschiedenen Lüftungs- und Heizungsarten menschlicher Wohn- und Aufenthaltsräume orientieren und zugleich ein Bild von der modernen Lüftungs- und Heizungstechnik geben, um dadurch Interesse und Verständnis für die dabei in Betracht kommenden, in gesundheitlicher Beziehung so überaus wichtigen Gesichtspunkte zu erwecken.

**Die Uhr.** Von Reg.-Bauführer a. D. H. Bock. Mit 47 Abbild. (Bd. 216.)
Behandelt Grundlagen und Technik der Zeitmessung, sowie eingehend, durch zahlreiche technische Zeichnungen unterstützt, den Mechanismus der Zeitmesser und der feinen Präzisionsuhren nach seiner theoretischen Grundlage wie in seinen wichtigsten Teilen.

## Aus Natur und Geisteswelt.

Jeder Band geheftet M. 1.—, in Leinwand gebunden M. 1.25.

**Wie ein Buch entsteht.** Von Prof. Arthur W. Unger. 2. Auflage. Mit 7 Tafeln und 26 Abbildungen. (Bd. 175.)

Schildert in einer durch Abbildungen und Papier- und Illustrationsproben unterstützten Darstellung Geschichte, Herstellung und Vertrieb des Buches unter eingehender Behandlung sämtlicher hiergewerblicher Techniken.

**Einführung in die chemische Wissenschaft.** Von Prof. Dr. Walter Löb. Mit 16 Figuren. (Bd. 264.)

Ermöglicht durch anschauliche Darstellung der den chemischen Vorgängen zugrunde liegenden allgemeinen Tatsachen, Begriffe und Gesetze ein gründliches Verständnis dieser und ihrer praktischen Anwendungen.

**Bilder aus der chemischen Technik.** Von Dr. Artur Müller. Mit 24 Abbildungen. (Bd. 191.)

Eine durch lehrreiche Abbildungen unterstützte Darstellung der Ziele und Hilfsmittel der chemischen Technik im allgemeinen, wie der wichtigsten Gebiete (z. B.: Schwefelsäure, Soda, Chlor, Salpetersäure, Teerdestillation, Farbstoffe) im besonderen.

**Der Luftstickstoff und seine Verwertung.** Von Prof. Dr. Karl Kaiser. Mit 13 Abbildungen. (Bd. 313.)

Ein Überblick über Wesen, Bedeutung und Geschichte dieses wichtigsten und modernsten Problems der Agrikulturchemie bis auf die neuesten erfolgreichen Versuche zu seiner Lösung.

**Agrikulturchemie.** Von Dr. P. Krische. Mit 21 Abbild. (Bd. 314.)

Eine allgemeinverständliche Übersicht über Geschichte, Aufgaben, Methoden, Resultate und Erfolge dieses volkswirtschaftlich so wichtigen Zweiges der angewandten Chemie.

**Die Bierbrauerei.** Von Dr. A. Bau. Mit 47 Abbildungen. (Bd. 333.)

Geschichte, Technik und volkswirtschaftliche Bedeutung der Bierbrauerei.

**Chemie und Technologie der Sprengstoffe.** Von Prof. Dr. Rud. Biedermann. Mit 15 Figuren. (Bd. 286.)

Gibt eine allgemeinverständliche, umfassende Schilderung des Gebietes der Sprengstoffe, ihrer Geschichte und ihrer Herstellung bis zur modernen Sprengstoffgroßindustrie, ihrer Fabrikation, Zusammensetzung und Wirkungsweise sowie ihrer Anwendung auf den verschiedenen Gebieten.

**Photochemie.** Von Prof. Dr. Gottfried Kümmell. Mit 23 Abb. (Bd. 227.)

Erklärt in einer für jeden verständlichen Darstellung die chemischen Vorgänge und Gesetze der Einwirkung des Lichtes auf die verschiedenen Substanzen und ihre praktische Anwendung, besonders in der Photographie, bis zu dem jüngsten Verfahren der Farbenphotographie.

**Die Photographie.** Von Hans Schmidt. (Bd. 280.)

**Elektrochemie.** Von Prof. Dr. Kurt Arndt. Mit 38 Abb. (Bd. 234.)

Eröffnet einen klaren Einblick in die wissenschaftlichen Grundlagen dieses modernsten Zweiges der Chemie, um dann seine glänzenden technischen Erfolge vor Augen zu führen.

**Die Naturwissenschaften im Haushalt.** Von Dr. Johannes Bongardt. In 2 Bänden. Mit zahlreichen Abbildungen. (Bd. 125. 126.)

I. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für die Gesundheit der Familie? Mit 31 Abb. (Bd. 125.)
II. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für gute Nahrung? Mit 17 Abbildungen. (Bd. 126.)

Will an der Hand einfacher Beispiele, unterstützt durch Experimente und Abbildungen, zu naturwissenschaftlichem Verstehen einfacher physikalischer und chemischer Vorgänge im Haushalt anleiten.

**Chemie in Küche und Haus.** Von weil. Prof. Dr. Gustav Abel. 2. Aufl. von Dr. Joseph Klein. Mit einer mehrfarbigen Doppeltafel. (Bd. 76.)

Gibt eine vollständige Übersicht und Belehrung über die Natur der in Küche und Haus sich vollziehenden mannigfachen chemischen Prozesse.

### Hierzu siehe ferner:

Bruns, Die Telegraphie. S. 17. Graetz, Das Licht und die Farben. S. 22. Alt, Die Kälte. S. 23. Bavink, Natürliche und künstliche Pflanzen- und Tierstoffe. S. 23.

VERLAG VON B. G. TEUBNER IN LEIPZIG UND BERLIN

# DIE KULTUR DER GEGENWART

## IHRE ENTWICKLUNG UND IHRE ZIELE

### HERAUSGEGEBEN VON PROFESSOR PAUL HINNEBERG

In 4 Teilen. Lex.-8. Jeder Teil zerfällt in einzelne inhaltlich vollständig in sich abgeschlossene und einzeln käufliche Bände (Abteilungen).

Bisher sind erschienen:

**Die allgemeinen Grundlagen der Kultur der Gegenwart.** (I, 1.) [XV u. 671 S.] Lex.-8. 1906. Geh. *M* 16.—, in Leinwand geb. *M* 18.—

**Die orientalischen Religionen.** (I, 3, 1.) [VII u. 267 S.] Lex.-8. 1906. Geh. *M* 7.—, in Leinwand geb. *M* 9.—

**Geschichte der christlichen Religion.** Mit Einleitung: **Die israelitisch-jüdische Religion.** (I, 4. 1.) 2., stark vermehrte und verbesserte Auflage. [X u. 792 S.] Lex.-8. 1909. Geh. *M* 18.—, in Leinwand geb. *M* 20.—

**Systematische christliche Religion.** (I, 4. 11.) 2., verbesserte Auflage. [VIII u. 279 S.] Lex.-8. 1909. Geh. *M* 6.60, in Leinwand geb. *M* 8.—

**Allgemeine Geschichte der Philosophie.** (I, 5.) [VIII u. 572 S.] Lex.-8. 1909. Geh. *M* 12.—, in Leinwand geb. *M* 14.—

**Systematische Philosophie.** (I, 6.) 2., durchgesehene Auflage. [X u. 435 S.] Lex.-8. 1908. Geh. *M* 10.—, in Leinwand geb. *M* 12.—

**Die orientalischen Literaturen.** (I, 7.) [IX u. 419 S.] Lex.-8. 1906. Geh. *M* 10.—, in Leinwand geb. *M* 12.—

**Die griechische und lateinische Literatur und Sprache.** (I, 8.) 2., verbesserte und vermehrte Auflage. [VIII u. 494 S.] Lex.-8. 1907. Geh. *M* 10.—, in Leinwand geb. *M* 12.—

**Die osteuropäischen Literaturen und die slawischen Sprachen.** (I, 9.) [VIII u. 396 S.] Lex.-8. 1908. Geh. *M* 10.—, in Leinwand geb. *M* 12.—

**Die romanischen Literaturen u. Sprachen. Mit Einschluß des Keltischen.** (I, 11, 1.) [VII u. 499 S.] Lex.-8. 1909. Geh. *M* 12.—, in Leinw. geb. *M* 14.—

**Allgemeine Verfassungs- und Verwaltungsgeschichte des Staates und der Gesellschaft.** (II, 2.) [Unter der Presse.]

**Staat und Gesellschaft des Orients.** (II, 3.) [Unter der Presse.]

**Staat und Gesellschaft der Griechen und Römer.** (II, 4, 1.) [IV u. 280 S.] Lex.-8. 1910. Geh. *M* 8.—, in Leinwand geb. *M* 10.—

**Staat und Gesellschaft der neueren Zeit** (bis zur französischen Revolution). (II, 5, 1.) [VI u. 349 S.] Lex.-8. 1908. Geh. *M* 9.—, in Leinw. geb. *M* 11.—

**Systematische Rechtswissenschaft.** (II, 8.) [X, LX u. 526 S.] Lex.-8. 1906. Geh. *M* 14.—, in Leinwand geb. *M* 16.—

**Allgemeine Volkswirtschaftslehre.** (II, 10, 1.) [VI u. 259 S.] Lex.-8. 1910. Geh. *M* 7.—, in Leinwand geb. *M* 9.—

**Probeheft und Sonder-Prospekte** über die einzelnen Abteilungen (mit Auszug aus dem Vorwort des Herausgebers, der Inhaltsübersicht des Gesamtwerkes, dem Autoren-Verzeichnis und mit Probestücken aus dem Werke) werden auf Wunsch umsonst und postfrei vom Verlag versandt.

**Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin**

# HIMMEL UND ERDE

## Illustrierte naturwissenschaftliche Monatsschrift

unter ständiger Mitwirkung von

Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. **Aron**, Berlin, Prof. Dr. **Donath**, Berlin, Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. **Foerster**, Berlin, Prof. Dr. **Franz**, Breslau, Prof. Dr. **Heck**, Berlin, Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. **Hellmann**, Berlin, Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. **Neesen**, Berlin, Geh. Reg.-Rat. Prof. Dr. **Nernst**, Berlin, Prof. Dr. **Plate**, Berlin, Prof. Dr. **Ristenpart**, Santiago, Prof. Dr. **Scheiner**, Potsdam, Prof. Dr. **Spies**, Posen, Prof. Dr. **Süring**, Berlin, Dr. **Thesing**, Leipzig, Geh. Bergrat Prof. Dr. **Wahnschaffe**, Berlin, Prof. Dr. **Walther**, Halle

redigiert von

## Dr. P. Schwahn

Direktor der Urania

**XXII. Jahrgang 1910. Jährlich 12 Hefte mit Tafeln und Abbildungen**

**Preis vierteljährlich M. 3.60.**

Sich fernhaltend von einer seichten Popularität, die nur der Halbbildung dient, unterrichtet „Himmel und Erde" in wissenschaftlich einwandfreier, aber dennoch jedem Gebildeten verständlicher Weise den Leser über alle Fortschritte auf dem Gebiete der Naturwissenschaft und Technik. Seit den mehr denn zwei Dezennien ihres Bestehens erfreut sich die Zeitschrift der ständigen Mitarbeit der besten Namen aus allen Fachgebieten. Der reiche Bilderschmuck, der jedem Hefte beigegeben ist, und die gediegene Ausstattung machen das Blatt zu einem Schmuck für jede Bibliothek. Jedes Heft enthält eine Anzahl reich illustrierter größerer Aufsätze von namhaften Fachgelehrten, die entweder fundamentale Fragen der Naturwissenschaft und Technik oder biographische Würdigungen schöpferischer Geister auf dem Gebiete moderner Naturerkenntnis behandeln. An die größeren Aufsätze schließen sich Mitteilungen über wichtige Entdeckungen und Erfindungen, über naturwissenschaftliche und technische Kongresse, über die jeweiligen Himmelserscheinungen, außerdem Besprechungen der hervorragendsten neuen Werke auf naturwissenschaftlichem Gebiete sowie eine sorgfältig durchgearbeitete Bücherschau. So wird es dem Leser gewährleistet, daß er den Überblick nicht verliert und einerlei, ob er selbst forschend tätig ist oder mitten im praktischen Leben steht, Fühlung mit den Errungenschaften unseres naturwissenschaftlichen Zeitalters behält.

**Probehefte auf Verlangen umsonst u. postfrei vom Verlag**

**RETURN TO** ⟶ **CIRCULATION DEPARTMENT**
202 Main Library

| LOAN PERIOD 1 **HOME USE** | 2 | 3 |
|---|---|---|
| 4 | 5 | 6 |

**ALL BOOKS MAY BE RECALLED AFTER 7 DAYS**

RENEWALS AND RECHARGES MAY BE MADE 4 DAYS PRIOR TO DUE DATE.
LOAN PERIODS ARE 1-MONTH, 3-MONTHS, AND 1-YEAR.
RENEWALS: CALL (415) 642-3405

**DUE AS STAMPED BELOW**

JUN 13 1992
JUN 27 RECD 91

UNIVERSITY OF CALIFORNIA, BERKELEY
FORM NO. DD6, 60m, 1/83 BERKELEY, CA 94720

das Format 75×55 von M. 4.— bis M. 12.—, für d
41×30 von M. 1.75 bis M. 4.50.

U.C. BERKELEY LIBRARIES
C035630229

# Urteile über B. … farbige Künstler-St…

„.... Doch wird man auch aus dieser … handenen Bilder umfassenden Aufzählung den R… Indessen es genügt nicht, daß die Bilder da sind, sie müssen auch gekauft werden. Sie müssen vor allen Dingen an die richtige Stelle gebracht werden. Für öffentliche Gebäude und Schulen sollte das nicht schwer halten. Wenn Lehrer und Geistliche wollen, werden sie die Mittel für einige solche Bilder schon überwiesen bekommen. Dann sollte man sich vor allen Dingen in privaten Kreisen solche Bilder als willkommene Geschenke zu Weihnachten, zu Geburtstagen, Hochzeitsfesten und allen derartigen Gelegenheiten merken. Eine derartige große Lithographie in den dazu vorrätigen Rahmungen ist ein **Geschenk, das auch den verwöhntesten Geschmack** befriedigt. An den kleinen Blättern erhält man für eine Ausgabe, die auch dem bescheidensten Geldbeutel erschwinglich ist, **ein dauernd wertvolles Geschenk.**“ **(Türmer-Jahrbuch.)**

Fr. B… …ert: Johannistor in Jena.
…41×30 cm. M. 2.50

…nde der Original-Lithographie.

QC371
R6
262059
Rohr

…Bewegung' entsprungen sind, begrüßen wir eins mit ganz ungetrübter Freude: den …gen der letzten Jahre, die der neuen 'ästhetischen 'künstlerischen Wandschmuck für Schule und Haus', den die Firma B.G. Teubner in Leipzig herausgibt.... Wir haben hier wirklich einmal ein aus warmer Liebe zur guten Sache mit rechtem Verständnis in ehrlichem Bemühen geschaffenes Unternehmen vor uns — fördern wir es, ihm und uns zu Nutz, nach Kräften!“ **(Kunstwart.)**

„Alt und jung war begeistert, geradezu glücklich über die Kraft malerischer Wirkungen, die hier für verhältnismäßig billigen Preis dargeboten wird. Endlich einmal etwas, was dem öden Öldruckbilde gewöhnlicher Art mit Erfolg gegenübertreten kann.“ **(Die Hilfe.)**

„Es läßt sich kaum noch etwas zum Ruhme dieser wirklich künstlerischen Steinzeichnungen sagen, die nun schon in den weitesten Kreisen des Volkes allen Beifall gefunden und — was ausschlaggebend ist — von den anspruchvollsten Kunstfreunden ebenso begehrt werden, wie von jenen, denen es längst ein vergeblicher Wunsch war, das Heim wenigstens mit einem farbigen Original zu schmücken. Was sehr selten vorkommt: hier begegnet sich wirklich einmal des Volkes Lust am Beschauen und des Kenners Freude an der künstlerischen Wiedergabe der Außenwelt.“ **(Kunst für Alle.)**

„... Es ist unseres Erachtens wertvoller, an dieser originalen Kunst sehen zu lernen, als an vielen hundert mittelmäßigen Reproduktionen das Auge zu verbilden und totes Wissen zu lernen, statt lebendige Kunst mitzuerleben.“ **(Illustrierte Zeitung.)**